جمهورية مصر العربية
وزارة التربية والتعليم
قطاع الكتب

الفيزياء

الصف الثالث الثانوى



طبعة ٢٠١٤ / ٢٠١٥م

جمهورية مصر العربية
وزارة التربية والتعليم
قطاع الكتب

الفيزياء

للصف الثالث الثانوى

لجنة إعداد الكتاب المطور

أ.د. مصطفى كمال محمد يوسف
أستاذ الفيزياء المتفرغ
كلية العلوم جامعة المنصورة

أ.د. محمد سامح سعيد
أستاذ ورئيس قسم الالكترونيات والاتصالات
كلية الهندسة - جامعة القاهرة

د. مصطفى محمد السيد محمد
أستاذ م. الفيزياء بكلية تربية عين شمس

د. طارق محمد طلعت سلامة
مدرس الفيزياء بكلية العلوم - جامعة الزقازيق

أ. كريمة عبد العليم سيد أحمد
موجه عام الفيزياء بمكتب مستشار العلوم

إشراف علمى

مستشار العلوم

إشراف تربوى ومراجعة وتعديل

مركز تطوير المناهج والمواد التعليمية

طبعة ٢٠١٤ - ٢٠١٥م

المحتويات

الوحدة الأولى: الحرارة	١ - ٩
الفصل الأول: فيزياء درجة الحرارة المنخفضة «التبريد»	٢
الوحدة الثانية: الكهربية التيارية والكهرومغناطيسية	١٠ - ٩٦
الفصل الثانى: التيار الكهربى وقانون أوم	١٢
الفصل الثالث: التأثير المغناطيسى والتيار الكهربى	٢٨
الفصل الرابع: الحث الكهرومغناطيسى	٥٧
الوحدة الثالثة: مقدمة فى الفيزياء الحديثة	٩٧ - ١٨٦
الفصل الخامس: ازدواجية الموجة والجسيم	٩٩
الفصل السادس: الأطياف الذرية	١٢١
الفصل السابع: الليزر	١٣٤
الفصل الثامن: الإلكترونيات الحديثة	١٥٨
أسئلة وتمارين عامة للمراجعة	١٨٧ - ١٩٣
ملاحق:	
ملحق١: الرموز والأبعاد ووحدات الكميات الفيزيائية	١٩٥
ملحق٢: الثوابت الفيزيائية الأساسية	١٩٨
ملحق٣: البادئات القياسية	٢٠٠
ملحق٤: الحروف الأبجدية اليونانية	٢٠١
ملحق٥: بعض مواقع الفيزياء على شبكة الإنترنت	٢٠٢

المقدمة

الفيزياء هى ركيزة العلوم الأساسية، فكلمة فيزياء تعنى فهم طبيعة هذا الكون من حولنا وما يجرى فيه كبيرًا وصغيرًا، وهى أصل العلوم ويتشابك معها علم الكيمياء الذى يختص بفهم التفاعلات بين المواد، وعلم البيولوجى ويختص بما يحدث فى الكائنات الحية، وعلم الجيولوجيا ويعنى بفهم طبقات الأرض، وعلم الفلك ويعنى بالأجرام السماوية، ولكن فى النهاية تبقى الفيزياء أم العلوم وهى أساس التقدم العلمى والتكنولوجى الهائل، وفهم الفيزياء يعنى فهم القوانين الحاكمة لهذا الكون، وهو ما أدى إلى النهضة الصناعية والحضارية التى يقودها الغرب الآن، ولم يكن العرب والمسلمون عامة قادة الحضارة فى العالم إلا بإدراكهم لقيمة فهم قوانين هذا الكون، وكان لهم فضل اكتشاف معظم قوانين الفيزياء قبل الغرب بقرون، وما أسس الطب والفيزياء والكيمياء والفلك والرياضيات والموسيقى إلا من وضع علماء العرب والمسلمين.

إن فهم الفيزياء وتطبيقاتها يحول المجتمع من مجتمع ضعيف وفقير ومتخلف إلى مجتمع قوى وغنى ومتقدم، وهذا ما حدث بالفعل فى أوروبا وأمريكا واليابان. الكمبيوتر والأقمار الصناعية والتليفون المحمول والتليفزيون كل هذه من ثمار علم الفيزياء، ثم إنهم يبحثون الآن فى تركيب الجينات وتصنيع كمبيوتر بالشفرة الجينية، وقريبا يتم تصنيع كمبيوتر باستخدام الذرة والليزر.

إنه عالم رحب لا حدود للخيال فيه، والذى يجهله إنما يحكم على نفسه بالفناء فى عالم لا يعترف إلا بسطوة العلم وقوة الفكر وروعة الإبداع. إن التقدم العلمى ثمرة لسلسلة طويلة من الاكتشافات، إذ لم يأت هذا التقدم فجأة، لكنه رصيد متراكم، فالعلم مشروع جماعى، كل من ساهم فيه كان لابد له أولًا أن يستوعب ما حققه الآخرون قبله. وتتابعيا تم بناء هذا الصرح العظيم من تراكم الخبرة الإنسانية عبر التاريخ، ولكن المطلوب من طالب العلم فى هذا العصر أن يلم وبسرعة بما سبق تراكمه من معرفه فى فترة زمنية وجيزة حتى يمكنه أن يضيف جديدًا فى فترة حياته وهى أولاً وآخرًا، فترة محدودة. كيف إذا يمكن حصر كل ما سبقنا فيه الأولون فى فترة دراسية محددة حتى نفهم ثم نضيف؟ من حسن الحظ أننا فى دراستنا لما

سبقنا فيه الأولون نأخذ خلاصة ما وصلوا إليه ونغض الطرف عن سنوات طويلة من تفاصيل العناء والبحث والتجربة والمشاهدة والمحاولات والإخفاقات. نأخذ فقط ما صح من النتائج وما انتهى إليه الآخرون قبلنا وبما استقر عليه الفهم بعد أن نضج العقل البشرى على مدى القرون. ومن ثم فعلينا أن نركز على المفاهيم الأساسية فى هذا البحر الزاخم ونترك التفاصيل لما بعد، فلا يمكن أن يلم أحد بكافة تفاصيل العلم ولو قضى حياته كلها فى فرع صغير من فروع أى علم من العلوم، ولكننا لابد أن نركز على عدد محدود من المفاهيم الرئىسية والمرجعية، ونمهد لما بعدها.

ولقد روعى فى هذا الكتاب ما يلى:

١- إزالة الحشو والتفاصيل غير الضرورية فى هذه المرحلة الدراسية والتركيز على المفاهيم العامة وترك الزيادات التى لا تصب مباشرة فى الفهم العام للموضوع.

٢- يتميز الكتاب بإضافة أمثلة على التطبيقات اليومية المحسوسة توضيحا للمفاهيم الفيزيائىة من الواقع سواء فى النص أو كمعلومات إثرائية لربط النظرية بالتطبيق على أن تبقى هذه المعلومات الإثرائية غير ملزمة فى الامتحان ويظل دورها من قبيل التشويق العلمى.

٣- يحتوى الكتاب على عدد هائل من الصور المحدثة الواضحة مذيلة بتوصيف لكل صورة، كما تم إخراج الكتاب فى أربعة ألوان طبقا للمقاييس العالمية فى الكتب المدرسية المتطورة.

٤- يحتوى الكتاب على العديد من الأمثلة المحلولة والأسئلة والتمارين وكلها تقوى الإدراك لدى الطالب بالمعنى الفيزيائى والفهم العميق للمفاهيم الأساسية.

٥- ذيل الكتاب بستة ملحقات عن الرموز والأبعاد والوحدات والثوابت الفيزيائية والبادئات القياسية والحروف الأبجدية اليونانية وأسماء بعض العلماء وإنجازاتهم و بعض المواقع الخاصة بالفيزياء على الإنترنت.

٦- روعى فى الكتاب أن تكون المعادلات باللغة الإنجليزية والمصطلحات باللغتين العربية والإنجليزية وجميع الوحدات المستخدمة طبقا للنظام الدولى.

وفى النهاية نوجه رسالة إلى الطالب بأن يأخذ علم الفيزياء بحب لأن فهم الفيزياء

هو فهم كل ما حولنا فى الحياة وكل الاختراعات التى نتعامل معها وتلك التى ستخرج إلى النور فى المستقبل القريب. ورسالة للمدرس بأن يكون تدريس الفيزياء بحب وبأسلوب مبنى على نقل المفاهيم لا تلقين الدروس مع ربط كل مفهوم بالمشاهدات اليومية ليكون التعلم مشوقا ومفيدا.

فقد يكون بين هؤلاء الطلبة أمامك من سيخرج فى المستقبل القريب بإذن الله ليكون علما تتحدث عنه الدنيا ويتحدث هو عنك بالفضل والعرفان على أنه فى يوم من الأيام تعلم على يديك وفهم أصول العلم منك وأنك أنت الذى مهدت له الطريق. وكفاك بهذا فخرا.

لجنة إعداد منهج الفيزياء

أ.د مصطفى كمال محمد يوسف

أ.د. محمد سامح محمد سعيد

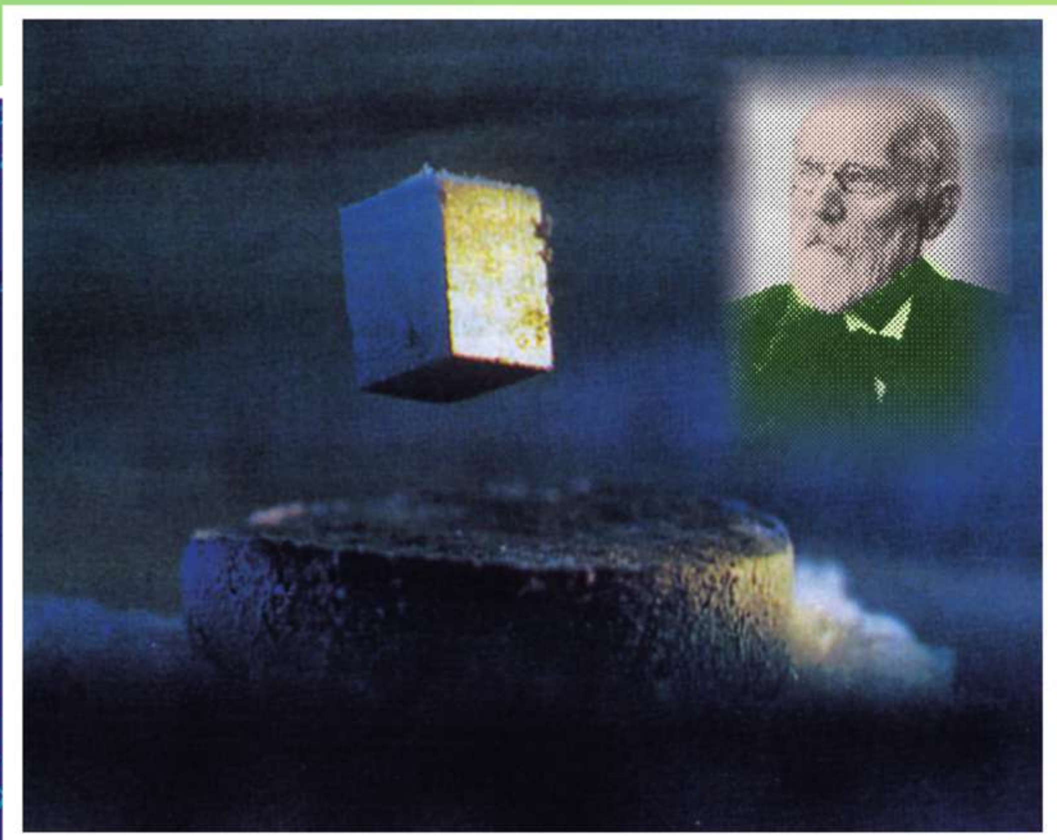
د. مصطفى محمد السيد محمد

أ. طارق محمد طلعت سلامة

أ. كريمة عبدالعليم سيد أحمد

الوحدة الأولى

الحـــرارة



الفصل الأول : فيزياء درجة الحرارة المنخفضة (التبريد)

الفصـل الأول

فيزياء درجات الحرارة المنخفضة (التبريد)

مقدمـــة :

فيـزياء درجـات الحـرارة المنخـفـضـة أو علم التـبـريد Cryogenics هو العلم الذى يهـتم بدراسة درجات الحرارة المنخفضة التى تقترب من الصفر المطلق (-273°C) أى صفر كلفن. والمقياس المستخدم لدرجات الحرارة المنخفضة هو مقياس كلفن أو مقياس درجة الحرارة المطلقة والذى يرتكز على سلوك الغاز المثالى.

غاز فان درفالز Van Der Waals:



فان درفالز

من فــروض نظرية الحــركـة للغــازات التى بنى على أساسها قانون الغاز المثالى إهمال قوى التجاذب بين جزيئات الغـاز وبعـضـهـا البعض، وأيضًا إهمال حـجم جـزيئـات الغـاز مقارنة بحجم الإناء.

تخـتلف خـواص الغـاز الحـقـيقى عن خـواص الغـاز المثـالى كلمـا ازدادت كـثـافـتـه. حـيث يظهـر تبـادل تأثيـر الجزيئات المختلفة على بعضها البعض Interaction. ويسمى هذا التـأثيـر المتـبـادل تأثيـر فاندرفـالز والذى يعبـر عن قـوى التجاذب بين الجزيئات، خلافا عن التفاعل الكيميائى بين الذرات الذى يؤدى إلى تكون الجزيئات. وهذا التجاذب جوهرى للغاية لأنه يؤدى إلى تكثف الغاز ليصبح سائلاً تحت تأثير الضغط العالى. فبزيادة الضغط يحدث تفاعل فان درفالز بين جميع الجزيئات، حيث يتجاذب جزيئين نتيجة اقتراب بعضهما من بعض ثم يتتابع اجتذاب جزيئات أخرى إليهم وهكذا إلى أن يتم انتقال المادة إلى الحالة المكثفة سواء للحالة السائلة أو للحالة الجامدة.

وتفسر هذه الآلية كيفية إسالة الغـازات ، مما أدى إلى امكانية الوصول إلى درجات الحرارة المنخفضة جداً و التى تقترب من الصفر المطلق.

آلية الحصول على درجات الحرارة المنخفضة :

يتم التوصل إلى درجات الحرارة المنخفضة جدًا بواسطة سحب الطاقة من المادة. ويتم هذا بطرق مختلفة. أبسطها أن تكون ملامسة لمادة أخرى مبردة مسبقًا عند درجة حرارة منخفضة جدًا. ويستخدم كل من الثلج العادى، أو الثلج الجاف (ثانى اكسيد الكربون المثلج)، أو الهواء السائل بنجاح تام لتبريد المواد. وقد تم الوصول إلى درجة $77^\circ K$ وهى درجة حرارة النيتروجين السائل. ثم أمكن بعد ذلك أيضًا الوصول إلى درجة $4.2^\circ K$ (وهى درجة حرارة الهليوم السائل). فمن مفهوم الحرارة الكامنة لتبخر السائل إلى الحالة الغازية أن الغاز المسال يسحب طاقة حرارية من المادة الملامسة له حتى يعود إلى طبيعته الغازية، وينتج عن ذلك انخفاض فى درجة حرارة المادة المراد تبريدها.

السيولة الفائقة Superfluidity

وتتميز بعض الغازات المسالة بقدرة فائقة على السيولة Superfluidity دون مقاومة تذكر . أى بدون احتكاك تقريبًا، عند درجة حرارة تقترب من الصفر المطلق ، حيث نجد أن سائل الهليوم فى درجات الحرارة المنخفضة يتمتع بخاصية السيولة المفرطة (أو فائقية السيولة)، أى تتلاشى لزوجته كلياً فى درجات الحرارة المنخفضة. كما أن سائل الهليوم فى درجات الحرارة المنخفضة يتميز بإمكانية الانسياب لأعلى - دون توقف - على جوانب أى وعاء يحتويه ، مهملاً قوى الاحتكاك والجاذبية (شكل ٨-١). ويتميز سائل الهليوم بحرارة نوعية منخفضة، وهو من أفضل الموصلات الحرارية .



شكل (٨-١)
السيولة الفائقة

قارورة ديوار Dewar's Flask :

وهو عبارة عن وعاء زجاجى أو معدنى مفرغ لمنع انتقال الحرارة. يستخدم لتخزين الغازات السائلة، حيث صمم لتقليل الفقد الحرارى بالتوصيل وبالحمل وبالإشعاع، لذلك يتكون من وعاء زجاجى من البيركس له جدران مزدوجة. وأسطح الجدارين من الداخل مطلية بالفضة لتقليل انتقال الحرارة بالإشعاع. والمسافة الفاصلة بين الجدارين مفرغة تماماً من الهواء لتقليل انتقال الحرارة بالتوصيل والحمل - مثل قارورة الثرموس - (شكل ٨-٢).



شكل (٨-٢)
قارورة ديوار

تستخدم قارورة ديوار لتخزين سوائل التبريد مثل سائل النيتروجين (نقطة غليانه $77^\circ K$) وسائل الأكسجين (نقطة غليانه $90^\circ K$) أما بالنسبة لسائل الهليوم (نقطة غليانه $4.2^\circ K$) ونظرا لأن حرارته النوعية منخفضة- لذا يستخدم عند تخزينه إناءان من نوعية قارورة ديوار، بحيث يوضع أحدهما فى الآخر، وتملأ المسافة الفاصلة بين الإنائين بسائل النيتروجين، وذلك نظراً لانخفاض الحرارة النوعية ونقطة الغليان للهليوم السائل .

عمل الثلاجة:

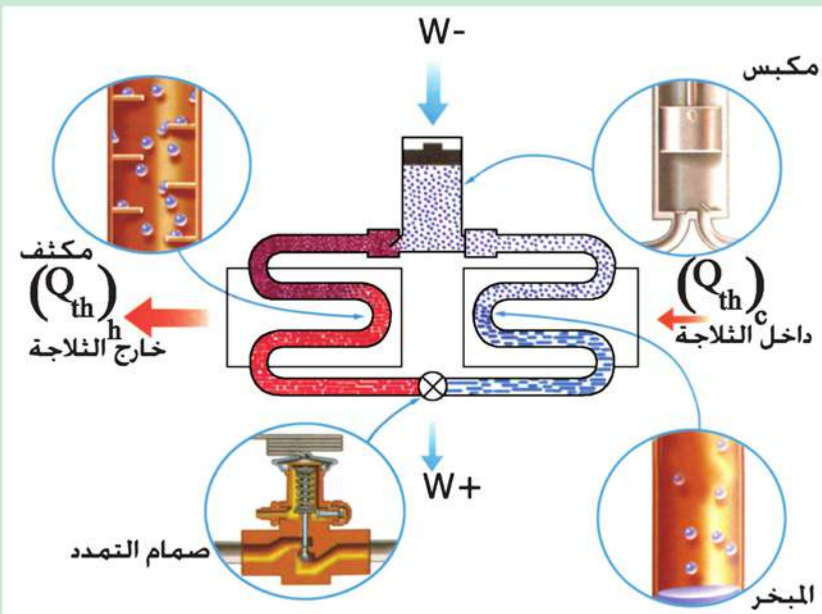
من قانون بقاء الطاقة إذا اكتسب غاز طاقة حرارية (Q_{th}) فإنها تتحول إلى صورتين للطاقة: الصورة الأولى هى زيادة طاقته الداخلية U، والتى تتمثل فى زيادة درجة حرارته. أما الصورة الثانية فهى الشغل الذى تبذله جزيئات الغاز W. وهناك نوعان من التبادل الحرارى. النوع الأول عند ثبوت درجة الحرارة مع الوسط المحيط به، اى ثبوت طاقته الداخلية ($\Delta U = 0$). فى هذه الحالة فإن الطاقة المكتسبة تتحول بالكامل إلى شغل ميكانيكى يبذله الغاز. ويعرف هذا بالعملية الايزوثرمية Isothermal . أما النوع الثانى فيتم بعزل الغاز عن الوسط المحيط به حراريا فلا يكتسب أو يفقد كمية حرارة مع الوسط المحيط به. فى هذه الحالة فإن $Q_{th} = 0$. ولذلك فإن الشغل المبذول من الغاز يتم على حساب طاقته الداخلية. فإذا كان W موجبة (اى أن الغاز يبذل الشغل) فإن الطاقة الداخلية تنخفض ، اى ان ΔU تكون سالبة، أى أن الغاز يبرد. أما إذا بذل شغل على الغاز فإن W تكون سالبة. لذلك تزداد الطاقة الداخلية، فترتفع درجة حرارته. وتوصف هذه العملية حين تكون $Q_{th} = 0$ (W موجبة أو سالبة) بالعملية الأديباتية Adiabatic. وتعتبر الثلاجة من أهم التطبيقات لهاتين العمليتين والسائل المستخدم فى التبريد هو غاز الفريون المسال، او بدائله حيث درجة غليانه $-30^\circ C$).

معلومة إثرائية

آلية عمل الثلاجة

يستخدم فى عمل الثلاجة (شكل ٨-٣) سائل يسمى الفريون وهو سائل التبريد Refrigerant. فى البداية يكون الفريون سائلاً عند درجة حرارة منخفضة وتحت ضغط عال ويكون بذلك أبرد من الهواء داخل الثلاجة. يقوم هذا السائل بامتصاص الحرارة من داخل الثلاجة. ويسبب هذا التبادل الحرارى زيادة فى درجة حرارة سائل التبريد حتى يصل به إلى درجة الغليان، ويستمر السائل فى امتصاص الحرارة من داخل الثلاجة، بينما تثبت درجة

الغليـان، ومن ثم فـإن هذا التبـادل الايزوثرمى Isothermal يسـتمـر حتـى يتم تبخيـر السـائل بالكامل . وعندمـا يتحـول السـائل إلى الحـالة الغـازية يمـر الغـاز فـى مكبس Compressor معـزول حـراريًا. فى هذه الحـالة يبذل المكبس شـغلاً على الغـاز، بما يؤدى إلى نقص فـى حجمـه دون انتقـال للحرارة . وهذا التبادل من نوع الاديباتى، حيث يزداد الضغط، وتزداد درجـة الحـرارة بزيادة الحـرارة الداخلية للغاز (حيث $Q_{th} = 0$، و تكون W سـالبة، لأن المكبس يبذل شغلاً على الغاز)، فتكون ΔU موجبة. وفى الخطوة التالية يمرر الغاز إلى جزء خارج جسم الثلاجة اسمه المكثف Condenser، حيث يحدث تبادل حرارى، ينتج عنه إخراج طاقة حرارية من الغاز إلى البيئة المحيطة والتى تكون فى درجة حرارة أقل، فيتكثف الغـاز الذى يكون عند ضغط عال، ويتحول إلى سائل عند درجة حرارة ثابتة (Isothermal). يعاد السائل إلى الثلاجة مرة أخرى. وقبل أن يدخل إلى الفريزر (أو المجمد) يسمح لسائل التبريد بأن يتمدد خلال عمليه أديباتية من خـلال صمـام التمـدد Expansion Valve. فى هذه الحـالة يتمـدد السـائل، وينتشـر من المنطقة ذات الضغط الأعلى إلى لمنطقة ذات الضغط المنخفض، ويزداد حجمه. وهنا يبذل شغلاً ضد الزنبرك فى الصمام. هذا الشغل يكون على حساب الطاقة الداخلية دون وجود طاقة خارجية أى أن



شكل (٨-٣)

عمل الثلاجة

$Q = 0$ أو تكون W موجبة وبالتالى ΔU سالبة ، أى تنقص الطاقة الداخلية وبالتالى درجة الحرارة.

وهكذا يعود سائل التبريد إلى نقطة البداية التى بدأنا منها هذه الدورة، وتتكرر العملية. والنتيجة النهائية أنه يتم خروج الطاقة الحرارية من داخل الثلاجة إلى المكثف خارج الثلاجة $(Q_{th})_{net}$ ، فتبرد الثلاجة عما يحيط بها من بيئة. ولابد بالطبع أن يكون هناك عزل حرارى للثلاجة. والملاحظ أن الطاقة الكهربية التى تحتاجها الثلاجة فى هذه الدورة هى الطاقة اللازمة لتشغيل المكبس. أما سائل التبريد فما هو إلا وسيط تظل طاقته الداخلية عبر دورة كاملة ثابتة أى أن $\Delta U_{net} = 0$، أى أن المكبس يعتبر مضخة حرارية Heat Pump تنقل الحرارة من داخل الثلاجة إلى خارجها عن طريق الشغل الذى يبذله المكبس W_{net}. وبالتالى فإن الطاقة الكهربية اللازمة لتشغيله E تساوى :

$$E = W_{net} = (Q_{th})_{net}$$

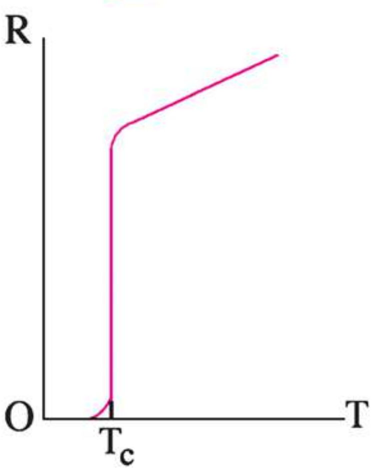
ظاهرة التوصيل الكهربى الفائق Superconductivity :



أونس

فى عام ١٩١١ -أى بعد اكتشاف إسالة الهليوم بثلاثة أعوام- اكتشف الفيزيائى كاميرلنخ أونس Onnes عند قيامه بأبحاثه العلمية مع مساعديه ظاهرة التوصيل الكهربى الفائق لبعض الفلزات عند درجات الحرارة المنخفضة.

عندما تنخفض درجة الحرارة إلى بضع درجات فوق الصفر المطلق تكون التوصيلية الكهربية لبعض المعادن (البلاتين - الألومنيوم - الزنك - الرصاص - الزئبق وبعض المركبات المعدنية) -أى قابلية مرور التيار الكهربى خلالها- عالية جدًا دون وجود أى مقاومة كهربية، أى تفقد المادة كامل مقاومتها الداخلية لسريان الكهرباء تقريبًا. وهذا يتم عند درجة حرارة تبريد معينة تُسمى بدرجة الانتقال إلى حالة التوصيلية الكهربائية الفائقة Superconductivity (شكل ٨-٤) . وتُسمى المواد التى تتميز بهذه الصفة بالمواد فائقة التوصيل Superconductors.

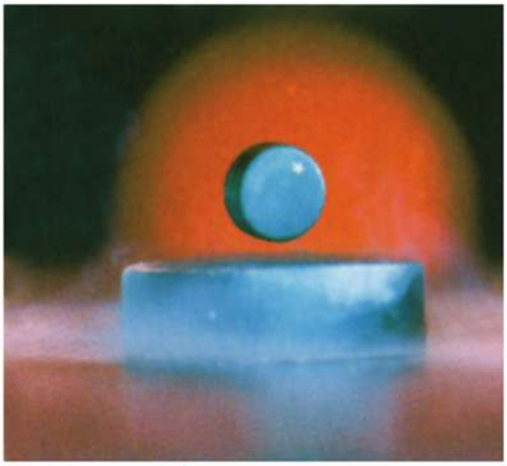


شكل (٨-٤)

درجة الحرارة الانتقالية

ومن المدهش أنه إذا انساب تيار فى حلقة من المواد فائقة التوصيل فإن هذا التيار يستمر حتى لو أزيل فرق الجهد الخارجى المسبب له ولعدة سنوات. أى أن هذا

التيار لا يواجه أية مقاومة. وبالتالى لا يسخن الفلز نتيجة مرور التيار فيه. أى أن هذا التيار يستمر دون طاقة تستهلك فى تعويض الطاقة الكهربية المصاحبة للتيار الكهربى والتى تتحول عادة إلى طاقة حرارية، ومن أهم الخصائص التى لوحظت على المواد المستخدمة فى الدوائر الكهربية والتى تتميز بالتوصيل الكهربى الفائق بأن لها مقدرة عالية لالتقاط أضعف الإشارات اللاسلكية. وهذا ما يتطلب وجوده فى الدوائر الكهربية بالأقمار الصناعية. ومن المدهش أنه إذا وضع مغناطيس دائم فوق قرص من مادة فائقة التوصيل فإن التيار فى المادة فائقة التوصيل يولد مجالاً مغناطيسيًا يتنافر دائما مع المغناطيس الدائم، بحيث يمكن أن يظل المغناطيس الدائم معلقًا فى الهواء. وهذا يسمى ظاهرة مايسنر Meissner Effect (شكل ٨-٥). والسبب فى ذلك أن المواد فائقة التوصيل من نوع المواد المغناطيسية التى ينعدم داخلها شدة المجال المغناطيسى (Diamagnetic). ولذلك فإن المجال المتولد داخلها نتيجة مجال مغناطيسى خارجى لابد أن يكون عكسه بحيث تكون المحصلة داخل المادة دائما صفراً. وقد أمكن استخدام هذه الظاهرة فى تصميم القطار فائق السرعة فى اليابان، إذ يحمل القطار ملفات من مادة فائقة التوصيل. وعندما يتحرك القطار فإنه يولد تيارا فى ملفات ثابتة، تولد مجالاً مغناطيسياً يتنافر مع المجال الأول فيرتفع القطار فوق القضبان Levitation بحوالى عدة سنتيمترات، مما يزيل الاحتكاك مع القضبان (شكل ٨-٦)، وبالتالى يزيد سرعته، وهو ما يسمى بالقطار الطائر حيث تبلغ سرعته 225km/h، وسيساعد اكتشاف ظاهرة التوصيل الفائقة لبعض المواد الجديدة عند درجات الحرارة العادية Room Temperature على التوسع فى مثل هذه التطبيقات، حتى لا تكون هناك ضرورة للتبريد. كما يمكن استخدام المواد فائقة التوصيل فى محطات توليد القوى الكهربية وفى خطوط نقل الكهرباء، بحيث ينعدم الفاقد فى الجهد نتيجة انعدام المقاومة.



شكل (٨-٥)

ظاهرة مايسنر



شكل (٨-٦)

القطار الطائر

تلخيص

- **فيزياء درجات الحرارة المنخفضة:**

هو العلم الذى يهتم بدراسة درجات الحرارة المنخفضة والتى تقترب من الصفر المطلق.

- **تأثير فان درفالز**

يعبر عن قوى التآثير المتبادل بين الجزيئات وهو يختلف عن التفاعل الكميائى بين الذرات والذى يؤدى إلى تكوين الجزيئات.

- **آلية الحصول على درجات الحرارة المنخفضة**

يتم التوصل إلى درجات الحرارة المنخفضة جداً وذلك بواسطة سحب الطاقة من المادة. وهذا يتم بطرق مختلفة منها طريقة التلامس بين المادة المراد تبريدها وبين المادة الأكثر برودة وهو الغاز السائل.

- **السيولة الفائقة**

تتميز بعض الغازات المسالة بقدرتها على التدفق دون مقاومة (احتكاك) عند درجة حرارة تقترب من الصفر المطلق. ويتميز سائل الهليوم بخاصية التدفق المفرط (تتلاشى لزوجته) عند درجات الحرارة المنخفضة. كما يتميز بإمكانية الإنسياب لأعلى على جوانب الوعاء الذى يحتويه. ويتميز أيضًا بانخفاض حرارته النوعية.

- **قارورة ديوار**

هو وعاء زجاجى أو معدنى مفرغ لمنع انتقال الحرارة، حيث يستخدم لتخزين الغازات السائلة مثل سائل النيتروجين وسائل الأكسجين وسائل الهليوم وغيرها.

- **ظاهرة التوصيل الكهربى الفائق**

تتميز بعض الفلزات بصفة التوصيلية الكهربية الفائقة (انعدام المقاومة الداخلية لسريان الكهرباء) عند درجات الحرارة المنخفضة.

- **ظاهرة مايسنر**

إذا وضع مغناطيس دائم فوق قرص من مادة فائقة التوصيل فإن التيار فى المادة فائقة التوصيل يولد مجالا مغناطيسيا يتنافر مع المغناطيس الدائم، بحيث يمكن أن يظل المغناطيس الدائم معلقاً فى الهواء.

أسئلة وتمارين

١- وضح مفهوم كل من :

(أ) تأثير ڤاندرڤالز.

(ب) ظواهر درجات الحرارة المنخفضة.

(جـ) السيولة فائقة لبعض الغازات المسالة.

(د) التوصيل الكهربى الفائق.

٢- علل لما يأتى:

(أ) استخدام إثنين من قارورة ديوار لتخزين سائل الهليوم.

(ب) المسافة الفاصلة بين الجدارين بقارورة ديوار تكون مفرغة الهواء.

(جـ) يتميز سائل الهليوم بإمكانية الإنسياب إلى أعلى دون توقف على جوانب الجدار للإناء الموضوع فيه.

(د) أمكن تصميم قطار له سرعة عالية (225 km/hr)

(هـ) يبقى المغناطيس معلقاً فوق مادة فائقة التوصيل مهما انعكس قطباه؟

٣- اذكر أهم التطبيقات لكل مما يأتى:

(أ) قارورة ديوار.

(ب) المواد فائقة التوصيل.

٤- وضح الفرق بين كل من:

(أ) التفاعل الكيميائى وتفاعل فان درڤالز.

(ب) سائل الهليوم وسائل النيتروچين.

الوحدة الثانية

الكهربية التيارية والكهرومغناطيسية



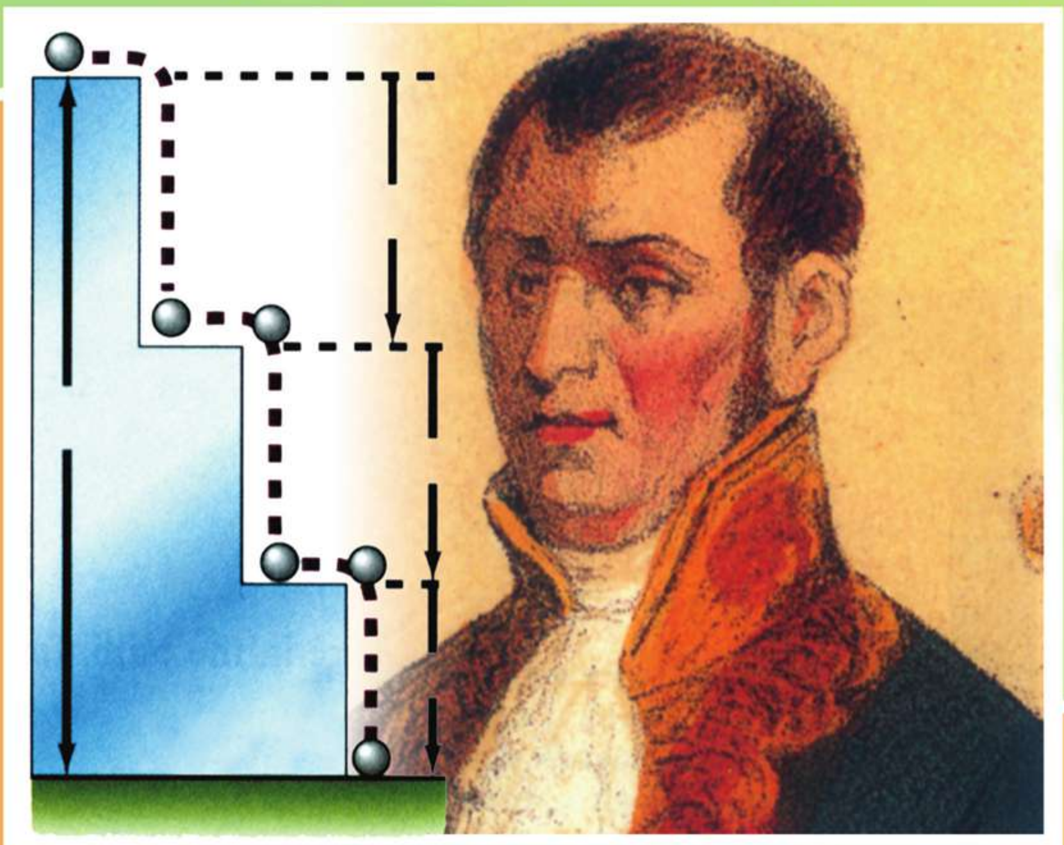
الفصل الثانى : التيار الكهربى وقانون أوم.

الفصل الثالث : التأثير المغناطيسى للتيار الكهربى وأجهزة القياس الكهربى

الفصل الرابع : الحث الكهرومغناطيسى

الكهربية التيارية والكهرومغناطيسية

الوحدة الثانية



الفصل الثانى : التيار الكهربى وقانون أوم

الوحدة الثانية
الكهربية التيارية

الفصــل الثانى
التيار الكهربى وقانون أوم

مقدمـــة:

مما سبق دراسته فى السنوات السابقة نعلم الآتى:

١- التيار الكهربى هو فيض من الشحنات الكهربية خلال موصل.

٢- شدة التيار الكهربى تعطى بالعلاقة $I = \frac{Q}{t}$، حيث أن Q هى كمية الكهربية مقاسة بالكولوم وt هى الزمن بالثانية، و I هى شدة التيار، وتقاس بالأمبير = كولوم / ثانية.

$$A = C/s$$



أوم



أمبير

٣- فرق الجهد بين نقطتين: $V = \frac{W}{Q}$
حيث أن W هو الشغل المبذول مقدرا بالجول، V هو فرق الجهد مقاساً بالفولت $V = J/C$

٤- القوة الدافعة الكهربية لمصدر: وهى الشـغل الكلى اللازم لنقل وحـدة الشـحنات (الكولوم) خلال الدائرة (خارج وداخل المصدر) ولها نفس وحدة فرق الجهد (الفولت).

٥ - المقاومة (R) هى ممانعة الموصل لمرور التيار الكهربى مقاسة بالأوم، وتعتمد عند ثبوت درجة الحرارة على كل من: طول الموصل - مساحة مقطعه - نوع مادته ، وتعطى بالعلاقة $R = \rho_e \ell/A$، حيث ع طول الموصل

بالمتر و A مساحة مقطعه بالمتر المربع، و ρ_e هى المقاومة النوعية وتقاس Ωm

التوصيلية الكهربية لمادة (معامل التوصيل الكهربى لها) σ هى مقلوب المقاومة النوعية $\sigma = \frac{1}{\rho_e}$ وتقاس بوحدة $\Omega^{-1}\ m^{-1}$

٦ - قانون أوم Ohm's Law:

تتناسب شدة التيار المار فى الموصل تناسبا طرديا مع فرق الجهد بين طرفيه عند
I
ثبوت درجة الحرارة $V = IR$

٧- اصطلح أن يكون اتجاه التيار الكهربى من الطرف الموجب إلى الطرف السالب فى دائرة كهربية مغلقة خارج المصدر، ويسمى هذا الاتجاه التقليدى للتيار الكهربى.وهو عكس اتجاه حركة الالكترونات.

توصيل المقاومات

أولا : توصيل المقاومات على التوالى :

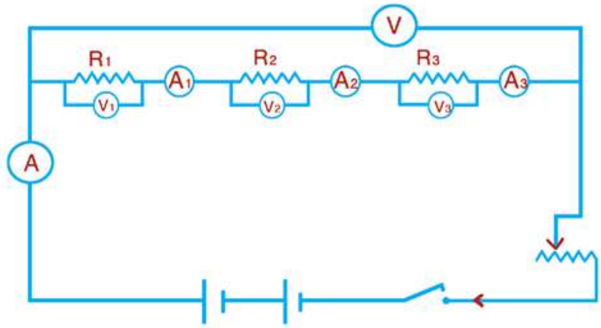


(شكل ٩-١)
توصيل المقاومات على التوالى

الغرض من توصيل المقاومات على التوالى هو الحصول على مقاومة كبيرة من مجموعة من المقاومات ، حيث توصل هذه ا لمجموعة بالكيفية المبينة فى (الشكل ٩-١) لتكون بمثابة ممر متصل للتيار الكهربى.

لايجاد المقاومة المكافئة لمجموعة المقاومات المتصلة على التوالى، تدمج ا لمجموعة فى دائرة كهربية تشمل بطارية وأميتر وريوستات ومفتاح موصلة جميعها على التوالى كما فى (الشكل ٩-٢). وبغلق الدائرة الكهربية وتعديل مقاومة الريوستات، يمكن إمرار تيار كهربى مناسب شدته I أمبير. وعندئذ يقاس فرق الجهد بين طرفى المقاومة R_1، وليكن V_1 ، وفرق الجهد بين طرفى المقاومة R_2 وليكن V_2، وفرق الجهد بين طرفى المقاومة R_3 وليكن V_3 ، ثم يقاس فرق الجهد الكلى بين طرفى ا لمجموعة وليكن V. ونلاحظ انه

يساوى مجموع فروق الجهد على المقاومات بالدائرة ويسمى هذا قانون كيرشوف Kirchhoff's law،



(شكل ٩-٢)
قياس المقاومة المكافئة فى حالة التوصيل على التوالى

أى أن $V = V_1 + V_2 + V_3$

لكن $\because V = IR$

$$V_1 = IR_1$$

$$V_2 = IR_2$$

$$V_3 = IR_3$$

بالتعويض ينتج أن :

$$IR' = IR_1 + IR_2 + IR_3$$

ومنها : $$R' = R_1 + R_2 + R_3 \qquad (9\text{-}1)$$

المقاومة المكافئة R' لمجموعة من المقاومات المتصلة على التوالى تساوى مجموع هذه المقاومات.

يلاحظ أن المقاومة الكبيرة هى التي تحدد المقاومة الكلية في حالة التوصيل علي التوالي.

وعندما تكون المقاومات المكونة للمجموعة المتصلة على التوالى متساوية، وقيمة كل منها r وعددها N يكون :

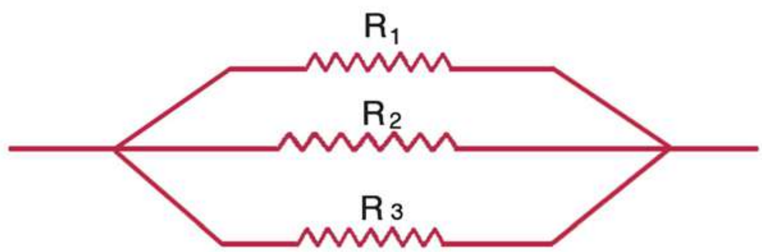
$$R' = Nr \qquad (9\text{-}2)$$

مما سبق نرى أنه إذا أردنا الحصول على مقاومة كبيرة من مجموعة من المقاومات الصغيرة توصل هذه المجموعة معا على التوالى.

ثانياً : توصيل المقاومات على التوازى :

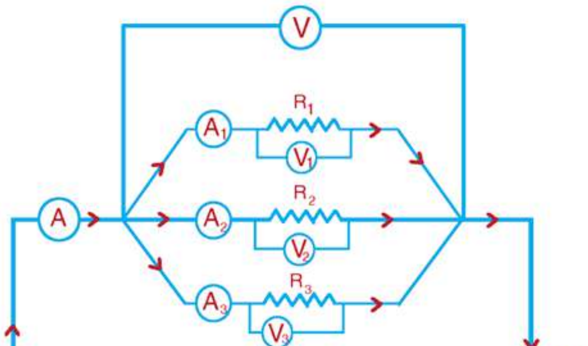
الغرض من توصيل المقاومات على التوازى هو الحصول على مقاومة صغيرة من مجموعة من المقاومات الكبيرة ، حيث توصل هذه المجموعة بالكيفية المبينة بالشكل (٩ - ٣).

لإيجاد المقاومة المكافئة لمجموعة المقاومات المتصلة على التوازى، تدمج المجموعة فى دائرة كهربية تشمل بطارية وأميتر وريوستات موصلة معا كما فى الشكل (٩-٤).



شكل (٩-٣)
توصيل المقاومات علي التوازي

وبغلق الدائرة الكهربية وتعديل مقاومة الريوستات، يمكن إمرار تيار مناسب فى الدائرة الرئيسية شدته يمكن قياسها بالأميتر ولتكن I أمبير. عندئذ يعين فرق الجهد الكلى بين طرفى مجموعة المقاومات المتصلة على التوازى بواسطة فولتميتر وليكن V فولت. وتقاس بعدئذ شدةالتيار المار فى



شكل (٩-٤)
قياس المقاومة المكافئة فى حالة التوصيل على التوازي

المقاومة R_1 وليكن I_1، وشدة التيار المار فى المقاومة R_2 وليكن I_2، وشدة التيار المار فى المقاومة R_3 وليكن I_3 .

فى حالة التوصيل على التوازى فإن التيار يتحدد بالمقاومة الأصغر، حيث أنه إذا اتصلت مقاومتان على التوازى، فإن المقاومة النهائية تتحدد بالمقاومة الأصغر، أى أن الجزء الاكبر من التيار سيمر فى المقاومة الأصغر.

تشبه هذه الظاهرة سريان الماء فى الأنابيب ، فالانبوبة الأصغر هى التى تحدد تدفق الماء فى حالة التوصيل على التوالى (الأنبوبة الاضيق اكبر فى المقاومة) . أما فى حالة التوصيل على التوازى فإن الأنبوبة الاوسع (الأقل فى المقاومة) هى التى يسرى فيها الجزء الاكبر من تيار الماء.

يلاحظ أن:

$$I = \frac{V}{R'} \quad , \quad I_1 = \frac{V}{R_1} \quad , \quad I_2 = \frac{V}{R_2} \quad , \quad I_3 = \frac{V}{R_3}$$

حيث R' هى المقاومة المكافئة وأن V هى فرق الجهد علي المقاومات المتصلة على التوازى . ولأن التيار الكلى I هو مجموع التيارات $I_1 + I_2 + I_3$ إذاً

$$\frac{V}{R'} = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} + \frac{V}{R_3}$$

ومنها :

$$\boxed{\frac{1}{R'} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}} \qquad (9 - 3)$$

أى أن : مقلوب المقاومة المكافئة R' لمجموعة من المقاومات متصلة على التوازى يساوى مجموع مقلوبات المقاومات.

وفى حالة مقاومتين متصلتين على التوازى تكون المقاومة المكافئه R'

$$\boxed{R' = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}} \qquad (9 - 4)$$

وعندما تكون المقاومات المكونة للمجموعة المتصلة على التوازى متساوية وقيمة كل منها r وعددها N يكون :

$$\frac{1}{R'} = \frac{N}{r}$$

$$\boxed{R' = \frac{r}{N}} \qquad (9 - 5)$$

ولذلك إذا أردنا الحصول على مقاومة صغيرة من مجموعة من المقاومات الكبيرة توصل هذه المجموعة من المقاومات على التوازى.

قانون أوم للدائرة المغلقة :

نعلم أن القوة الدافعة الكهربية لعمود e.m.f هى الشغل الكلى المبذول خارج وداخل العمود لنقل كمية من الكهرباء قدرها كولوم واحد فى الدائرة الكهربية .

لذلك إذا رمزنا للقوة الدافعة الكهربية للعمود (البطارية) بالرمز V_B ولشدة التيار الكلى فى الدائرة بالرمز I وللمقاومة الخارجية بالرمز R وللمقاومة الداخلية للعمود بالرمز r فإن :

$$V_B = IR + Ir$$

$$V_B = I\,(R + r)$$

ومنها

$$\boxed{I = \frac{V_B}{R + r}} \qquad (9 - 6)$$

وتعرف العلاقة السابقة باسم قانون أوم للدائرة المغلقة حيث تكون :-

$$\text{شدة التيار الكهربى فى دائرة} = \frac{\text{القوة الدافعة الكهربية الكلية}}{\text{المقاومة الكلية للدائرة}}$$

العلاقة بين القوة الدافعة الكهربية لعمود وفرق الجهد بين قطبيه :

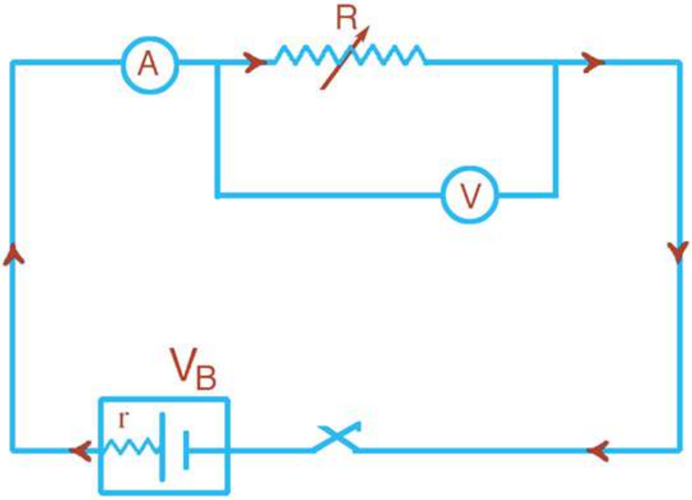
من شكل (٩-٥) نجد أن:

$$\boxed{V = V_B - Ir}$$

ومن العلاقة الأخيرة نتبين أنه مع إنقاص شدة التيار تدريجيا فى الدائرة الموضحة

فى الشكل (٩-٥) بزيادة المقاومة الخارجية R يزداد فرق الجهد بين قطبى العمود.

وعندما تصبح شدة التيار صغيرة جداً الى حد يمكن معه إهمال الحد الثانى من الطرف الأيمن فى المعادلة السابقة، يصبح فرق الجهد بين قطبى العمود مساويا تقريباً للقوة الدافعة الكهربية له أى أن : القوة الدافعة الكهربية لعمود : هى فرق الجهد بين قطبيه فى حالة عدم مرور تيار كهربى فى دائرته.



شكل (٩-٥)

علاقة جهد البطارية بالقوة الدافعة الكهربية لها

امثلة :

(١) وصلت المقاومات الثلاث 25Ω و 70Ω و 85Ω على التوالى مع بطارية القوة الدافعة الكهربية لها $45V$ بإهمال المقاومة الداخلية للبطارية احسب :

(أ) شدة التيار الكهربى المار فى كل من المقاومات الثلاث.

(ب) فرق الجهد على كل مقاومة.

الحل :

تتعين المقاومة الكلية للدائرة من :

$$R = R_1 + R_2 + R_3 = 25 + 70 + 85 = 180\ \Omega$$

وتتعين شدة التيار الكلى فى الدائرة من قانون أوم للدائرة المغلقة

$$I = \frac{V_B}{R} = \frac{45}{180} = 0.25\ A$$

ونظراً لأن المقاومات الثلاث موصلة على التوالى يكون التيار المار فيها ثابتا، أى أن شدة التيار المار فى كل مقاومة هو $0.25A$

فرق الجهد على المقاومة الأولى هو :

$$V_1 = IR_1 = 0.25 \times 25 = 6.25V$$

وفرق الجهد على المقاومة الثانية هو :

$$V_2 = IR_2 = 0.25 \times 70 = 17.5V$$

وفرق الجهد على المقاومة الثالثة هو :

$$V_3 = IR_3 = 0.25 \times 85 = 21.25V$$

(٢) إذا وصلت المقاومات الثلاث فى المثال السابق على التوازى مع نفس المصدر فاحسب :

(أ) شدة التيار المار فى كل مقاومة.

(ب) المقاومة الكلية.

(جـ) شدة التيار الكلى.

الحــــل :

نظرا لأن المقاومات الثلاث متصلة على التوازى، يكون فرق الجهد على كل مقاومة (مع إهمال المقاومة الداخلية للبطارية) هو 45V

وتتعين شدة التيار فى كل مقاومة على حدة من :

$$I_1 = \frac{V}{R_1} = \frac{45}{25} = 1.8\ A$$

$$I_2 = \frac{V}{R_2} = \frac{45}{70} = 0.643\ A$$

$$I_3 = \frac{V}{R_3} = \frac{45}{85} = 0.529\ A$$

وتتعين المقاومة الكلية من :

$$\frac{1}{R'} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{25} + \frac{1}{70} + \frac{1}{85}$$

$$R' = 15.14\ \Omega$$

وتتعين شدة التيار الكلى من :

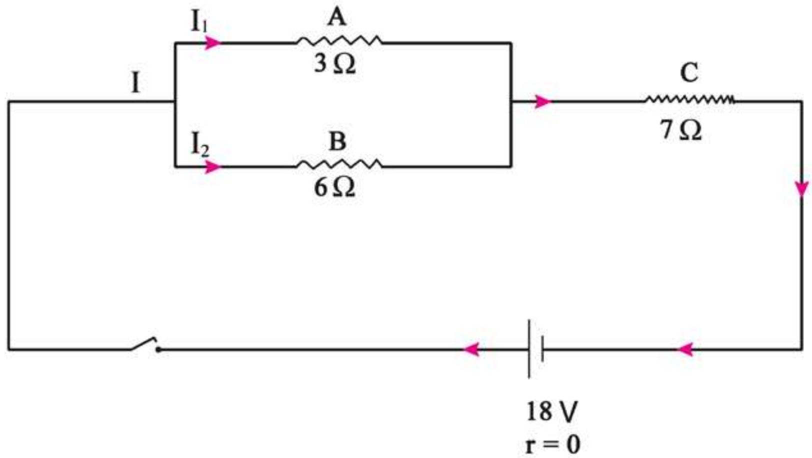
$$I = \frac{V}{R'} = \frac{45}{15.14} = 2.972\ A$$

أى أن شدة التيارالكلى تساوى 2.972 A

ويمكن حساب شدة التيار الكلى بجمع I_1 , I_2 , I_3 وعندئذ يكون :

$$I = 1.8 + 0.643 + 0.529 = 2.972\ A$$

وهى نفس النتيجة السابقة.



(٣) فى الشكل السابق وصلت المقاومتان B وA معا على التوازى ثم وصلت المجموعة على التوالى مع مقاومة ثالثة C وبطارية قوتها الدافعة الكهربية 18V ، فإذا كانت المقاومات C ،B ،A هى 3Ω و 6Ω و7Ω على الترتيب، فاحسب مع إهمال المقاومة الداخلية للبطارية :

أولا : المقاومة الكلية.

ثانياً : شدة التيار المار فى الدائرة.

ثالثاً : شدة التيار المار فى كل من المقاومتين B و A

الحل :

نحسب المقاومة المكافئة للمقاومتين B و A المتصلتين على التوازى من العلاقة :

$$R' = \frac{R_1\ R_2}{R_1 + R_2} = \frac{3 \times 6}{3 + 6} = 2\ \Omega$$

ثم نحسب المقاومة المكافئة الكلية للمقاومات الثلاث من العلاقة :

$$R = R' + R_3 = 2 + 7 = 9\ \Omega$$

وتتعين شدة التيار الكلى من العلاقة :

$$I = \frac{V}{R} = \frac{18}{9} = 2\ A$$

ولحساب شدة التيار فى كل من المقاومتين B و A نحسب أولا فرق الجهد بينهما من :

$$V' = IR' = 2 \times 2 = 4V$$

$$\therefore I_1 = \frac{V'}{R_1} = \frac{4}{3} = 1.333\ A$$

$$\therefore I_2 = \frac{V'}{R_2} = \frac{4}{6} = 0.667\ A$$

(٤) عمود كهربى قوتة الدافعة الكهربية 2 V وصل فى دائرة كهربية. فإذا كانت المقاومة الداخلية له 0.1 Ω والمقاومة الخارجية 3.9 Ω فاحسب شدة التيار الكلى فى دائرته.

الحـــل

$$I = \frac{V_B}{R + r} = \frac{2}{3.9 + 0.1} = 0.5\ A$$

تلخيص

● القوانين الهامة :

● إذا مرت كمية كهربية Q خلال مقطع فى دائرة فى زمن t تكون شدة التيار.

$$I = \frac{Q}{t}$$

● إذا كان الشغل المبذول لنقل كمية من الكهربية Q (Coulomb) هو W(Joule) يكون الفرق فى الجهد (Volt).

$$V = \frac{W}{Q}$$

● قانون أوم : إذا كان فرق الجهد بين طرفى موصل V(V) ويمر به تيار I(A) فإن :

$$R = \frac{V}{I} \quad \Omega$$

حيث R مقاومة الموصل (المقاومة).

● المقاومة النوعية (Ωm)

$$\rho_e = \frac{RA}{ع}$$

عند ثبوت درجة الحرارة

حيث R(Ω) مقاومة موصل مساحة مقطعة $A(m^2)$ وطوله (m) ع .

● التوصيلية الكهربية $(\Omega^{-1}m^{-1})$

$$\sigma = \frac{1}{\rho_e}$$

● قانون توصيل المقاومات على التوالى

$$R' = R_1 + R_2 + R_3 + ...$$

● وإذا كانت جميع المقاومات متساوية وقيمة كل منها r فإن $R' = Nr$

حيث N عدد المقاومات.

● قانون التوصيل على التوازى

$$\frac{1}{R'} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

● عندما تكون المقاومات المكونة للمجموعة متساوية وقيمة كل منها r وعددها N فإن

$$R' = \frac{r}{N}$$

● قانون أوم للدائرة المغلقة :

شدة التيار المار فى دائرة مغلقة

$$I = \frac{V_B}{R + r}$$

حيث V_B القوة الدافعة الكهربية للعمود، r مقاومته الداخلية، R المقاومة الخارجية.

أسئلة وتمارين

أولا: أكمل:

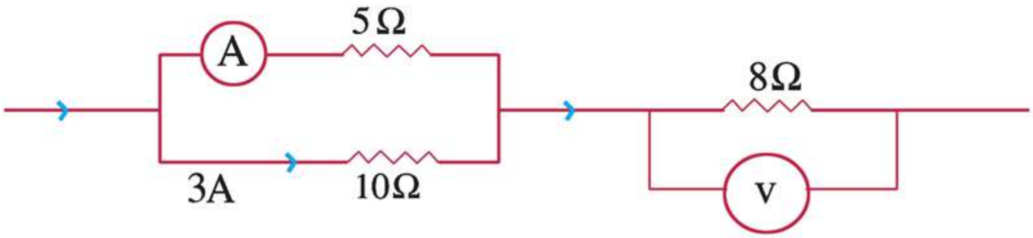
١- عندما يمر تيار كهربى شدته 3A عبر نقطة من دائرة كهربية، فإن الشحنة الكهربية التى تمر خلال دقيقة تساوى.......

٢- فرق الجهد بالڤولت المطلوب لكى يمر تيار مقداره 3A خلال مقاومة 6Ω تساوى ....

٣- إذا كان فرق الجهد بين طرفى مقاومة 2Ω يساوى 6V فإن شدة التيار التى تمر فيها تساوى.................

٤- إذا وصلت مقاومتان متساويتان كل منهما تساوى 1Ω على التوالى، فإن المقاومة المكافئة تساوى.......... أما إذا تم التوصيل على التوازى فإن المقاومة المكافئة فى هذه الحالة تساوى......

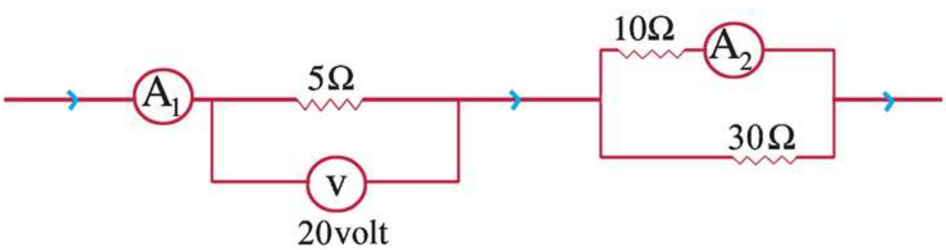
٥ - القوة الدافعة الكهربية تقاس بنفس وحدات قياس......



٦ - فى الدائرة الموضحة:

أ - قراءة الأميتر تساوى ....

ب - قراءة الفولتميتر تساوى..........



٧ - فى الدائرة الموضحة:

أ - قراءة الأميتر A_1 تساوى..........

ب - قراءة الأميتر A_2 تساوى.........

ثانيا اختر الإجابة الصحيحة:

وصلت أربع لمبات مقاومة كل منها 6Ω على التوازى ثم وصلت المجموعة ببطارية 12V ذات مقاومة داخلية مهملة :

١- التيار المار بالبطارية يساوى :

(أ) 8A (ب) 6A (جـ) 4A

(د) 2A (هـ) 0A

٢- الشحنة الكلية التى تترك البطارية فى 10s تكون ....

(أ) 80C (ب) 60C (جـ) 40C

(د) 20C (هـ) صفر

٣- شدة التيار المار بكل لمبة يساوى :

(أ) $\frac{2}{3}$A (ب) 8A (جـ) $\frac{3}{2}$A

(د) 1A (هـ) 2A

٤- فرق الجهد بين طرفى كل لمبة يساوى :

(أ) 3V (ب) 12V (جـ) 6V

(د) 2V (هـ) 4V

٥- المقاومة الكلية للمبات الأربع تساوى :

(أ) $\frac{2}{3}\Omega$ (ب) $24\ \Omega$ (جـ) $\frac{3}{2}\Omega$

(د) $6\ \Omega$ (هـ) $12\ \Omega$

٦- إذا وصلت اللمبات الأربع على التوالى تكون مقاومتها الكلية :

(أ) $\frac{2}{3}\Omega$ (ب) $24\ \Omega$ (جـ) $\frac{3}{2}\Omega$

(د) $6\ \Omega$ (هـ) $12\ \Omega$

ثالثاً : اســـــئلة المقال :

١- اشرح كيف يمكن اثبات أن المقاومة المكافئة لثلاث مقاومات متصلة معا على التوالى تتعين من العلاقة : $R' = R_1 + R_2 + R_3$

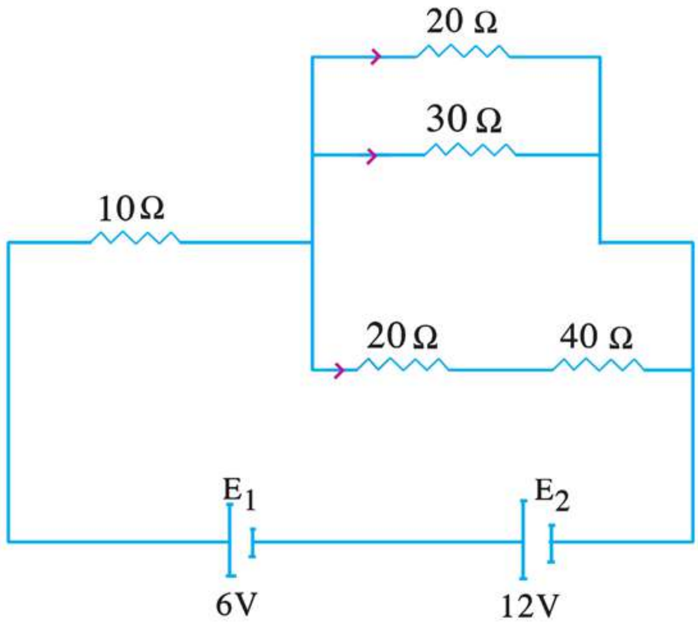
٢- اشرح كيف تثبت أن مقلوب المقاومة المكافئة لثلاث مقاومات متصلة على التوازى تساوى مجموع مقلوب المقاومات الثلاث.

٣- ما هى العوامل التى تتوقف عليها مقاومة موصل؟

رابعاً : تمـــــارين :

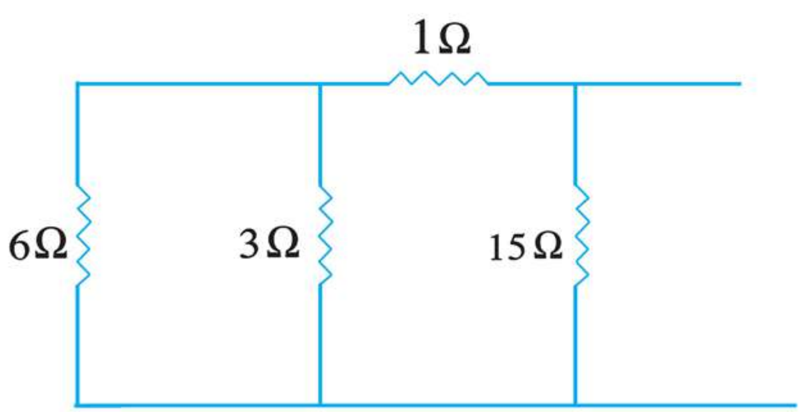
١- احسب المقاومة الكلية للدائرة الموضحة بالشكل وكذلك شدة التيار الكلى المار بهـــا إذا كـــانت المقاومة الداخلية لكل عمود 2Ω

(0.75 A ، 20Ω)



٢- عين المقاومة المكافئة لمجموعة المقاومات الموضحة بالشكل

(2.5Ω)



٣- دائرة كالموضحة فى شكل (٩-٥) تتكون من بطارية 15V ومقاومة خارجية 2.7Ω ومفتاح، إذا كانت المقاومة الداخلية للبطارية 0.3Ω عين :

اولا : قراءة الفولتميتر والمفتاح مفتوح بفرض أن مقاومة الفولتميتر لانهائية (15V)

ثانياً : قراءة الفولتميتر والمفتاح مغلق (13.5V)

٤- صنع طالب مقاومة من سلك ذى طول معين. ثم صنع مقاومة اخرى باستخدام سلك من نفس المادة وكان قطره يساوى نصف قطر السلك الأول، وطوله ضعف طول السلك الأول. أحسب النسبة بين مقاومة السلك الثانى إلى مقاومة السلك الأول. (8)

٥- سلك من النحاس طوله 30 m ومساحة مقطعه $2 \times 10^{-6}\ m^2$ وفرق الجهد بين طرفيه 3V احسب شدة التيار الكهربى، علما بان المقاومة النوعية للنحاس $1.79 \times 10^{-8}\ \Omega m$ (11.17 A)

٦- مقاومة 4.7Ω وصلت بين قطبى بطارية قوتها الدافعة 12V ومقاومتها الداخلية 0.3Ω

احســب :

(أ) شدة التيار المار فى الدائرة. (ب) فرق الجهد بين طرفى المقاومة

(11.4V ، 2A)

الكهربية التيارية والكهرومغناطيسية

الوحدة الثانية



الفصل الثالث : التأثير المغناطيسى للتيار الكهربى و أجهزة القياس الكهربى

الفصـل الثالث

التأثير المغناطيسى للتيار الكهربى وأجهزة القياس الكهربى

مقدمــة :

حـينمـا وضع العــالم الدانمركى هانز أورســتــد Oersted عــام ١٨١٩ بوصلة مغناطيسية صغيرة بالقرب من سلك يمر به تيار كهربى لاحظ إنحراف إبرة البوصلة. وعندما قطع التيار الكهربى عن السلك، استعادت البوصلة إتجاهها الأصلى. أنحراف البـوصلة أثناء مـرور التـيـار الكهـربى فى السلك يوضح أنها تتأثر بمجال مغناطيسى خارجى، مما يؤكد تولد مجال مغناطيسى حول السلك نتيجة لمرور تيار كهربى به.

ولقد أدى هذا الكشف الى سلسلة من الدراسات ساعدت فى تشكيل حضارتنا الصناعية.

وسنتناول فى هذه الوحدة ا المجال المغناطيسى لتيار كهربى فى موصل على هيئة :

(أ) سلك مستقيم.   (ب) ملف دائرى.   (جـ) ملف لولبى.

المجال المغناطيسى لتيار كهربى يمر فى سلك مستقيم :

يمكننا اختبار ودراسة شكل خطوط الفيض المغناطيسى Magnetic Flux بالقرب من سلك مستقيم يمر به تيار كهربى باستخدام برادة حديد تنثر بعناية على لوحة أفقية من الورق المقوى يخترقها السلك المستقيم وهو فى وضع رأسى. وبطرق لوحة الورق عدة طرقات خفيفة، يلاحظ أن برادة الحديد تترتب على هيئة دوائر منتظمة متحدة المركز، كما فى الشكل (١٠-١).



أورستيد



(شكل ١٠ - ١)
توزيع برادة حديد حول سلك يمر به تيار

من الشكل نتبين أن الدوائر التى تمثل خطوط الفيض المغناطيسى تتزاحم بالقرب من السلك، وتتباعد بتباعدها عنه، مما يدل على أن شدة المجال المغناطيسى للتيار الكهربى الذى يمر فى سلك مستقيم تزداد بالإقتراب من السلك وتقل بالإبتعاد عنه.

ومع زيادة شدة التيار الكهربى فى السلك واعادة طرق لوحة الورق المقوى، يزداد تزاحم خطوط الفيض حول السلك، إذ تصبح الدوائر أكثر ازدحاما مما كانت عليه، مما يدل على أن شدة المجال المغناطيسى للتيار الكهربى الذى يمر فى سلك مستقيم تزداد بزيادة شدة التيار الكهربى وتقل بانقاصه.

ويعبر عن شدة المجال المغناطيسى بكثافة الفيض المغناطيسى B، وهو الفيض المغناطيسى ϕ_m لوحدة المساحة $B = \frac{\phi_m}{A}$. وتكون وحدتها $Weber/m^2$ (Tesla)

وتتعين كثافة الفيض المغناطيسى عند نقطة بعدها العمودى d عن السلك الذى يمر به تيار شدته I من العلاقة :

$$B = \frac{\mu I}{2 \pi d} \qquad (10-1)$$

وتسمى هذه العلاقة قانون أمبير الدائرى Ampere's Circuital Law، حيث μ هى النفاذية المغناطيسية للوسط Permeability. وهى للهواء تساوى $4\pi \times 10^{-7}$ Weber/A.m ومن هذه العلاقة نتبين أن كثافة الفيض B تتناسب طرديا مع شدة التيار I، وعكسيا مع المسافه d، ولذلك ينصح ببناء المساكن بعيداً عن أبراج الضغط العالى للكهرباء حفاظاً على الصحة العامة والبيئة.

قاعدة اليد اليمنى لأمبير:

لتعيين اتجاه المجال المغناطيسى الناشئ عن تيار كهربى يمر فى سلك، نتخيل أننا نقبض باليد اليمنى على السلك بحيث يشير الإبهام الى اتجاه التيار الكهربى، فإن اتجاه الأصابع الملتفة على السلك، يحدد إتجاه المجال المغناطيسى للتيار الكهربى، كما فى الشكل (١٠-٢).



(شكل ١٠ - ٢)
قاعدة اليد اليمنى

مثـــــال :

عين كثافة الفيض المغناطيسى عند نقطة فى الهواء على بعد 10 cm من سلك مستقيم طويل يمر به تيار شدته 10A ، علما بأن μ للهواء تساوى $4\pi \times 10^{-7}$ Weber/A.m

الحـــــل :

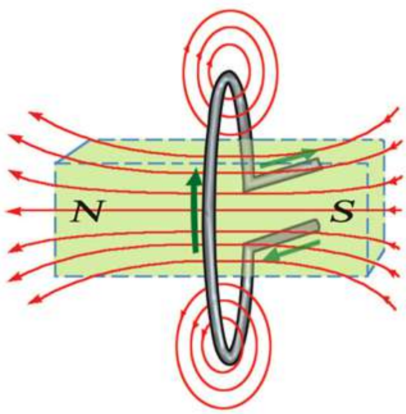
$$B = \frac{\mu I}{2\pi d} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 10}{2\pi \times 0.1} = 2 \times 10^{-5} \text{ Tesla}$$

المجال المغناطيسى لتيار يمر فى ملف دائرى :

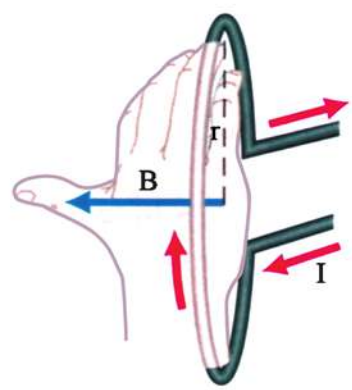
عند إمرار تيار كهربى فى سلك منحنى على شكل حلقة دائرية شكل (١٠-٣ أ)، فإن المجال المغناطيسى الناشىء عن هذا الملف الدائرى يشبه الى حد كبير المجال المغناطيسى لمغناطيس قصير. حيث يكون الوجه الذى يبدو فيه اتجاه التيار عند النظر اليه فى اتجاه حركة عقارب الساعة قطبا جنوبياً، والوجه الذى يبدو فيه اتجاه التيار عند النظر اليه فى عكس اتجاه حركة عقارب الساعة قطبا شماليا كما فى شكل (١٠-٣جـ).



أ-تخطيط المجال



جـ - تحديد قطبية المجال



ب- إتجاه المجال عند مركز الملف

شكل (١٠-٣)

المجال المغناطيسى لملف دائرى

ولدراسـة المجـال المغناطيسـى للملف الدائرى ننثـر برادة الحـديد على لوح الورق المقوى الذى يخترقه الملف الدائرى، وعند طرق لوح الورق المقوى طرقات خفيفة، تترتب البرادة متخذة الشكل الموضح بالرسم (شكل ١٠-٣ أ).

فى هذا الشكل يمكننا ملاحظة ما يلى :

(أ) تفقد خطوط الفيض دائريتها.

(ب) تختلف كثافة الفيض المغناطيسى من نقطة لأخرى.

(جـ) خطوط الفيض عند محور الملف الدائرى خطوط مستقيمة متوازية متعامدة على مستوى الملف، مما يدل على أن المجال المغناطيسى فى هذه المنطقة مجال منتظم.

ويمكن حساب كثافة الفيض المغناطيسى عند مركز الملف الدائرى بمعرفة نصف قطره r وشدة التيار المار I وعدد اللفات N، حيث تطبق العلاقة :

$$B = \frac{\mu N I}{2 r} \qquad (10\text{-}2)$$

حيث μ هى معامل النفاذية للهواء وتساوى $4 \pi \times 10^{-7}$ Weber/A.m

من هذه العلاقة نتبين أن كثافة الفيض المغناطيسى عند مركز ملف دائرى تتوقف على عوامل ثلاثة هى :

١- عدد لفات الملف الدائرى حيث تكون $B \propto N$

٢- شدة التيار المار فى الملف الدائرى حيث تكون : $B \propto I$

٣- نصف قطر الملف الدائرى r حيث تكون : $B \propto \frac{1}{r}$

• قاعدة البريمة اليمنى: Right Hand Screw Rule

لتعيين اتجاه المجال المغناطيسى عند مركز ملف دائرى يمر به تيار كهربى، نتخيل دوران بريمة (قلاوظ Screw) فى اليد اليمنى فى اتجاه الربط (فى اتجاه حركة عقارب الساعة) عند مركز الملف، بحيث يشير اتجاه دورانها إلى اتجاه التيار الكهربى فى الملف فإن اتجاه اندفاعها يدل على اتجاه المجال المغناطيسى عند مركز الملف، كما فى الشكلين (١٠-٤) - (١٠-٥).

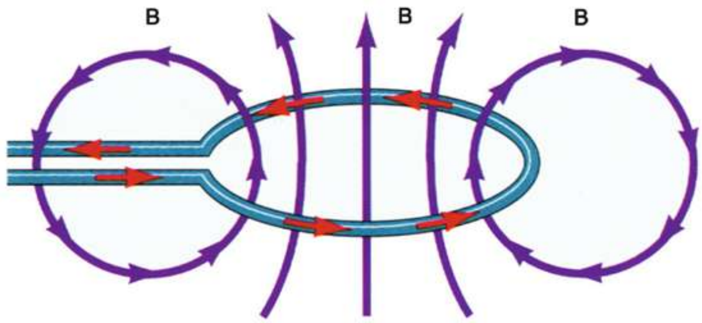
وبذلك فإن ملفاً دائرياً يمر به تيار يكافىء ثنائى قطب مغناطيسى Magnetic Dipole .

ويلاحظ أنه لا يوجد فى الطبيعة أقطاب منفردة، فدائما يوجد قطبان أحدهما شمالى N والثانى جنوبى S، وبذلك يماثل الملف الدائرى الذى يمر فيه تيار مغناطيسا على هيئة قرص مصمت له قطبان مستديران (شكل ١٠-٣).



شكل (١٠-٤)

قاعدة البريمة اليمنى
اتجاه حركة مسماربريمة
(أثناء الربط)



شكل (١٠-٥)

ملف دائرى يمر به تيار فى إتجاه حركة ربط البريمة

مثـــــال :

عين كثافة الفيض المغناطيســى عند مركز ملف دائرى نصف قطره 11cm وعدد لفاته 20 لفة، ويمر به تيار كهربى شدتـه 1.4 A ، علمـــا بأن μ للهـــواء تســـاوى $4 \pi \times 10^{-7}$ Weber/A.m

الحـــــل :

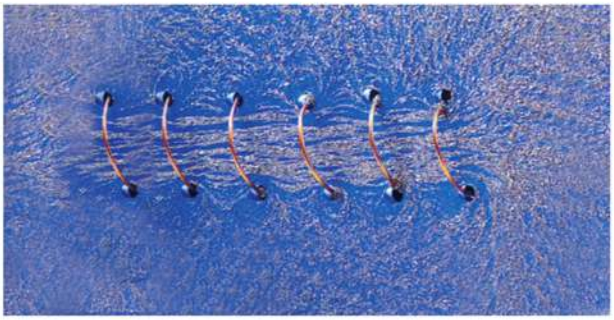
$$B = \frac{\mu N I}{2r} = \frac{4 \pi \times 10^{-7} \times 20 \times 1.4}{2 \times 0.11}$$

$$= \frac{4 \times 22 \times 10^{-7} \times 20 \times 1.4}{7 \times 2 \times 0.11} = 16 \times 10^{-5} \quad \text{Tesla}$$

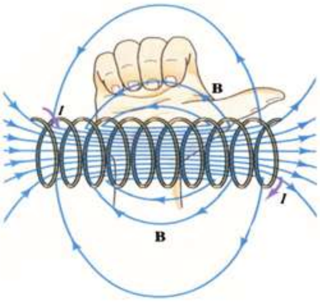
• المجال المغناطيسى لتيار كهربى يمر فى ملف لولبى

عندما يوصل طرفا ملف لولبى بمصدر تيار كهربى كما فى الشكل (١٠-٦) يتولد مجال مغناطيسى يشبه الى حد كبير المجال المغناطيسى لقضيب مغناطيسى.

ومن الشكل (١٠-٦أ)، يتضح أن خطوط الفيض تمثل مسارات متصلة داخل وخارج الملف. أى أن كل خط بمثابة مسار مغلق. طرف الملف الذى تخرج منه خطوط الفيض المغناطيسى هو القطب الشمالى للملف، والطرف الأخر الذى تدخل فيه خطوط الفيض المغناطيسى هو القطب الجنوبى للملف.



(أ)



(ب)

شكل (١٠-٦)

المجال المغناطيسى لملف لولبى

أ- تخطيط المجال المغناطيسى

ب- تحديد قطبية المجال بإستخدام قاعدة أمبير لليد اليمنى

وتتوقف كثافة الفيض المغناطيسى عند أى نقطة على المحور داخل الملف اللولبى الذى يمر به تيار كهربى على كل من :

١- شدة التيار المار حيث $B \propto I$

٢- عدد اللفات فى وحدة الأطوال حيث $B \propto n$

$$\therefore B \propto nI$$

ومنهـا :

$$B = \mu nI$$

وتكتب العلاقة السابقة أحيانا على الصورة

$$B = \mu \frac{N}{\ell} I \qquad (10\text{-}3)$$

حيث N العدد الكلى للفات ملف لولبى طوله ℓ .

ولتعيين قطبى الملف اللولبى الذى يمر به تيار كهربى، نستخدم قاعدة البريمة اليمنى باعتبار أن الملف اللولبى يتكون من مجموعة لفات دائرية متحدة المحور (شكل ١٠-٦ب).

أمثلة:

١- يتكون ملف لولبى من 800 لفة ويمر به تيار شدته 0.7 A، احسب كثافة الفيض المغناطيسى عند نقطة بداخله وتقع على محوره، علما بأن طوله 20cm

الحل :

$$B = \frac{\mu N I}{\ell} = \frac{4 \times 22 \times 10^{-7} \times 800 \times 0.7}{7 \times 0.2}$$

$$= 3.52 \times 10^{-3} \text{ Tesla}$$

٢- احسب شدة التيار الكهربى اللازم لجعل كثافة الفيض المغناطيسى فى الملف السابق تساوى 0.815 Tesla فى حالة وجود قلب من الحديد داخله ، علماً بان النفاذية المغناطيسية للحديد هى 1.63×10^{-2} Weber/Am

الحل :

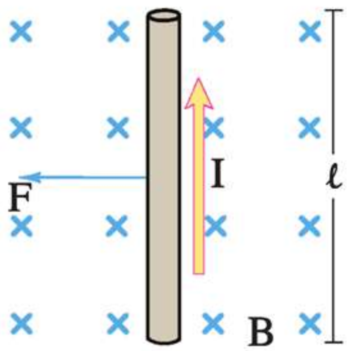
$$B = \mu \frac{NI}{\ell}$$

$$0.815 = \frac{1.63 \times 10^{-2} \times 800 \times I}{0.2}$$

$$I = \frac{0.815 \times 0.2}{1.63 \times 10^{-2} \times 800} = 0.0125 \text{ A} = 12.5 \text{ mA}$$

• القوة التى يؤثر بها مجال مغناطيسى على سلك يمر به تيار كهربى موضوع فى هذا المجال :

إذا وضعنا سلكا مستقيما يمر به تيار بين قطبى مغناطيس، فإنه تنشأ قوة تؤثر على السلك وتكون عمودية عليه وعلى المجال المغناطيسى كما هو مبين (شكل ١٠-٧).



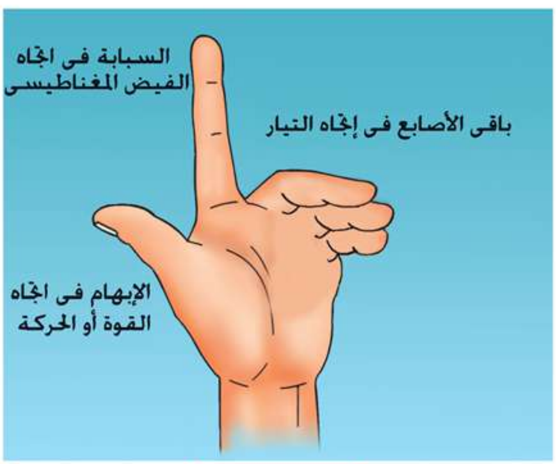
شكل (١٠ -٧)
القوة الناشئة عن مجال مغناطيسى على سلك يمر به تيار.
ملحوظة: (العلامة X تمثل الإتجاه داخل الصفحة)

وينعكس اتجاه القوة إذا عكسنا اتجاه التيار فيه أو اتجاه المجال المغناطيسى المؤثر عليه. وفى كل الأحوال يكون اتجاه القوة عمودياً على كل من اتجاه التيار الكهربى واتجاه المجال.

تتطلب حركة السلك وجود قوة تحركه، وتكون بدورها عمودية على كل من اتجاه التيار الكهربى واتجاه المجال المغناطيسى. ويمكن تحديد اتجاه القوة التى يؤثر بها المجال المغناطيسى على سلك يمر به تيار كهربى موضوع عمودياً على اتجاه المجال، وذلك بتطبيق قاعدة اليد اليسرى لفلمنج.

قاعدة اليد اليسرى لفلمنج Fleming's Left Hand Rule:

نجعل اصبعى اليد اليسرى السبابة والإبهام متعامدين على بعضهما وعلى باقى الأصابع، بحيث تشير السبابة إلى اتجاه الفيض المغناطيسى وباقى الأصابع ماعدا الإبهام إلى اتجاه التيار ، عندئذ يشير الإبهام الى اتجاه القوة المغناطيسية، وبالتالى الى اتجاه حركة السلك، كما فى الشكل (١٠-٨).



شكل (١٠-٨)
قاعدة فلمنج لليد اليسرى

وقد وجد أن القوة المؤثرة على سلك يحمل تياراً كهربياً - يسرى عمودياً على

مجال مغناطيسى - تتوقف على عدة عوامل هى :

١- طول السلك ℓ

فالقوة F تتناسب طردياً مع طول السلك ℓ ، أى أن : $F \propto \ell$

٢- شدة التيار الكهربى I

فالقوة F تتناسب طردياً مع شدة التيار الكهربى المار فى السلك، أى أن $F \propto I$

٣- كثافة الفيض المغناطيسى B

فالقوة F تتناسب طردياً مع كثافة الفيض المغناطيسى B ، أى أن $F \propto B$

وبذلك يكون :

$$F \propto BI\ell$$

$$\therefore F = const \times BI\ell$$

ولقد تم إتخاذ وحدة لكثافة الفيض المغناطيسى هى التسلا Tesla ، بحيث تولد قوة تساوى واحد نيوتن على سلك طوله واحد متر، يمر به تيار كهربى شدته واحد أمبير أى

$$Weber/m^2 = N/Am$$

وعندئذ يكون :

$$F = BI\ell \quad (Newton) \qquad (10 - 4)$$

أو

$$B = \frac{F}{I\ell} \quad Tesla$$

التســــلا :

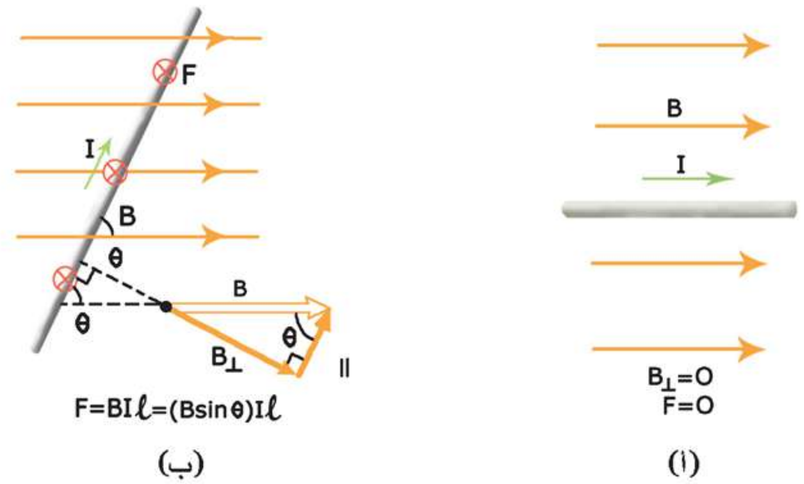
وحدة كثافة الفيض المغناطيسى : وهى كثافة الفيض المغناطيسى الذى يولد قوة مقدارها نيوتن واحد على سلك طوله متر واحد يمر به تيار كهربى شدته أمبير واحد، عندما يكون السلك عمودياً على خطوط الفيض المغناطيسى.

وعندما يكون السلك الذى يمر به التيار الكهربى فى إتجاه يميل على إتجاه المجال بزاوية θ -كما فى الشكل (١٠-٩)- عندئذ يمكن تحليل كثافة الفيض المغناطيسى الى مركبتين ، إحداهما موازية لاتجاه التيار فى السلك، ومقدارها $B \cos\theta$ ، والأخرى عمودية على إتجاه التيار فى السلك، ومقدارها $B \sin\theta$ ، وفى هذه الحالة تكون :

$$F = BI\ell \sin\theta$$

من هذه العلاقة، نتبين أن القوة F تنعدم عندما تكون θ مساوية للصفر، أى عندما يكون السلك والمجال المغناطيسى متوازيين.

يمكنك تخيل اتجاه القوة فى حالات مختلفة مع مراعاة أن علامة ⊙ معناها خارج الصفحة وعلامة ⊗ معناها داخل الصفحة.



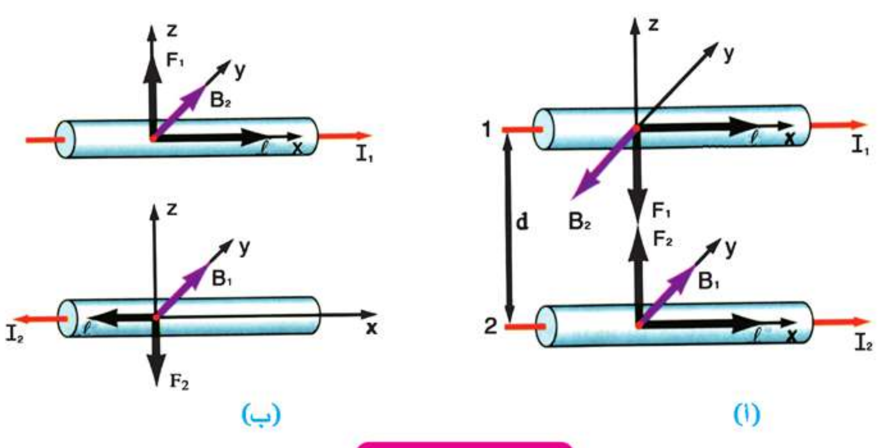
شكل (١٠ - ٩)

سلك يمر به تيار فى إتجاه يميل على إتجاه المجال المغناطيسى بزاوية θ

أ- تنعدم القوة عند $\theta = 0$ (السلك فى إتجاه المجال) ب- تنشأ قوة عندما تكون θ لا تساوى صفر

القوة بين سلكين متوازيين يحملان تيارين

عندما يمر تيار I_1 فى سلك وتيار I_2 فى سلك آخر مواز، فإنه تنشأ قوة بين السلكين. وتكون القوة تجاذبية، إذا كان التياران فى نفس الاتجاه، وتنافرية إذا كان التياران في عكس الاتجاه. ويمكن حساب القوة على الوجه التالى:



شكل (١٠ - ١٠)

القوة بين سلكين متوازيين يحملان تيارين

أ - التياران فى نفس الاتجاه ب - التياران فى اتجاهين متضادين

$$B_2 = \frac{\mu_o I_2}{2\pi d}$$

$$F_1 = B_2 I_1 \ell$$
$$= \left(\frac{\mu_o I_2}{2\pi d}\right) I_1 \ell$$

$$F_1 = \frac{\mu_o I_1 I_2 \ell}{2\pi d}$$

أمثلة:

١- سلك طوله 30cm يمر به تيار شدته 4A وضع عمودياً على إتجاه مجال مغناطيسى فتأثر بقوة مقدارها 6 N إحسب كثافة الفيض المغناطيسى.

الحـــل :

$$F = BI\ell$$
$$6 = B \times 4 \times 0.3$$
$$B = \frac{6}{4 \times 0.3} = \frac{6}{1.2} = 5 \text{ Tesla}$$

٢- مستخدماً بيانات المثال السابق إحسب القوة التى يؤثر بها المجال المغناطيسى على نفس السلك عندما تكون الزاوية بينهما 30°

الحـــل :

$$F = BI\ell \sin\theta$$
$$= 5 \times 4 \times 0.3 \times \frac{1}{2} = 3 \text{ N}$$

• القوة والعزم المؤثران على ملف مستطيل يمر به تيار كهربى موضوع فى مجال مغناطيسى

إذا كان لدينا ملف abcd (شكل ١٠-١١) مستواه يوازى خطوط الفيض للمجال المغناطيسى المنتظم، فإن كلاً من ad , bc يكونان موازيين لخطوط الفيض. وتكون القوة المؤثرة على كل منها تساوى صفراً، أما كلا من cd , ab فيكونان عموديين على خطوط الفيض، لذا يتأثران بقوتين متساويتين فى المقدار ومتضادتين فى الاتجاه، وتكونان متوازيتين، وقيمة كل منهما $F = BI\ \ell_{cd}$ ، وبينهما مسافة عمودية تمثل بطول الضلع = ℓ_{ad} أو ℓ_{bc} ، ولذا يتأثر الملف بإزدواج يعمل على دوران الملف حول محوره. وتكون قيمة

عزم الإزدواج هى :

العزم = إحدى القوتين × البعد العمودى بينهما

$$\tau = BI\ \ell_{cd} \cdot \ell_{bc} = BIA$$

حيث A هى مساحة مقطع الملف = $\ell_{bc}\ \ell_{cd}$

وإذا كان الملف يحتوى على N لفة فإن العزم الكلى يساوى:

$$\tau = BIAN = B|\vec{m_d}| \qquad (10\text{-}5)$$

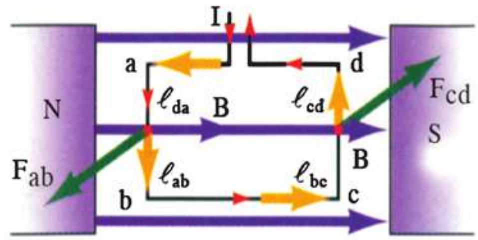
حيث $|\vec{m_d}| = IAN$ وهى عزم ثنائى القطب المغناطيسى Magnetic Dipole Moment وهو كمية متجهة واتجاهها عمودى على المساحة فى اتجاه تقدم بريمة اليد اليمنى فى اتجاه الربط، وهو اتجاه التيار. وعلى ذلك إذا كان الملف عمودياً على خطوط الفيض فإن عزم الإزدواج المؤثر يساوى صفراً.

أما إذا كان مستوى الملف يميل على خطوط الفيض بزاوية θ فإن عزم الإزدواج

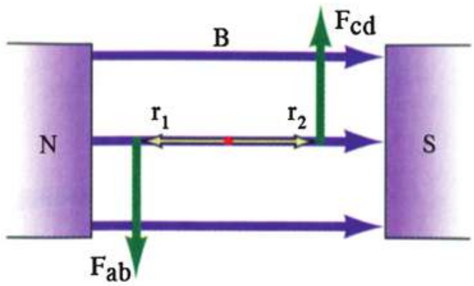
$$\tau = BIAN\ \sin\theta \qquad (10\text{-}6)$$

حيث θ هى الزاوية بين العمودى على مستوى الملف (وهو اتجاه عزم ثنائى القطب المغناطيسى $\vec{m_d}$) وخطوط الفيض المغناطيسى. ويقاس عزم الإزدواج بالوحدة Nm.

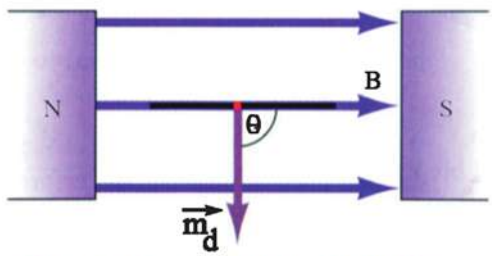
تستخدم فكرة عزم الازدواج فى عمل ملف يمر به تيار كهربى فى أجهزة القياس الكهربية، وأيضا فى المحرك الكهربى والذى سيتم تناوله بالتفصيل فى نهاية الفصل الرابع.



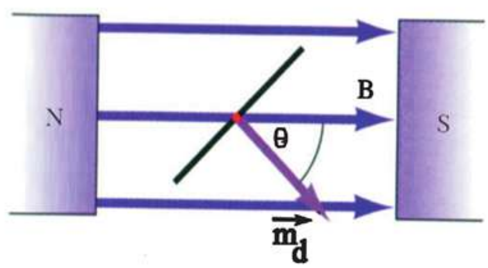
أ- الملف موازى للمجال.



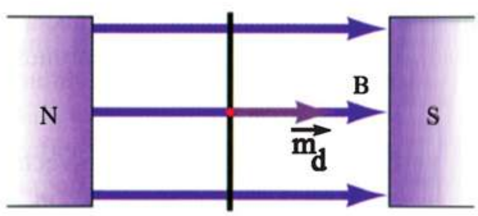
ب- منظر للملف من أعلى عندما يكون موازيا للمجال.



جـ - منظر للملف من أعلى حين يكون عزم ثنائى القطب المغناطيسى عموديا على المجال.



د - منظر للملف من أعلى حين يكون عـزم ثنائى القطب المغناطيسى يميل بزاوية Θ مع المجال.



هـ - منظر للملف من أعلى حين يكون الملف عموديا على المجال أى عزم ثنائى القطب المغناطيسى مواز للمجال ويكون الازدواج صفراً.

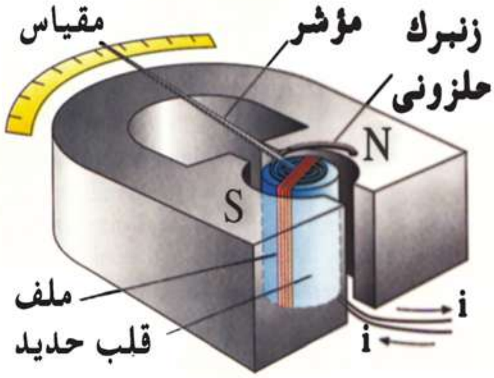
شكل (١٠ - ١١)

عزم الأزدواج فى ملف يحمل تياراً

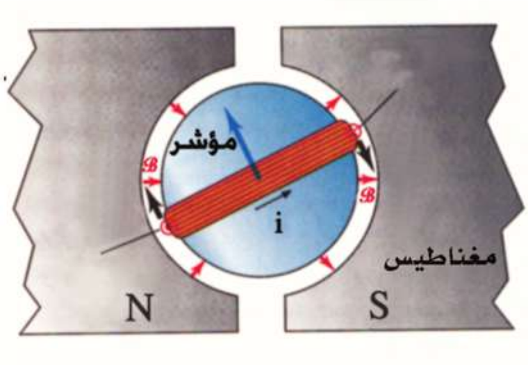
تطبيقات: أجهزة القياس الكهربية

الجلفانومتر ذو الملف المتحرك (الجلفانومتر الحساس):

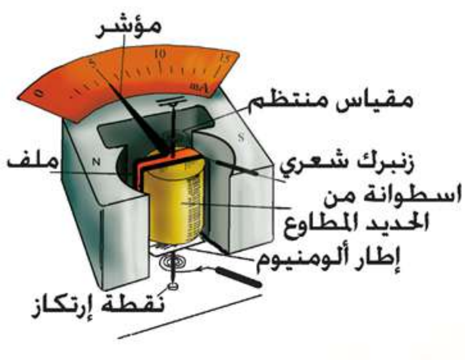
الجلفانومتر ذو الملف المتحرك Moving Coil Galvanometer جهاز يستخدم للاستدلال على وجود تيارات كهربية ضعيفة جداً فى دائرة ما، وقياس شدتها، وتحديد إتجاهها. وتعتمد فكرة عمله على عزم الإزدواج المؤثر فى ملف يمر به تيار كهربى قابل للحركة فى مجال مغناطيسى.



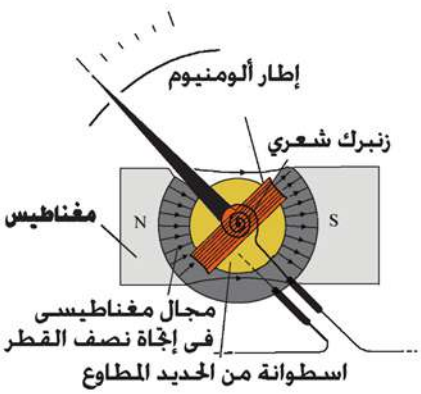
ا-منظر مبسط للجلفانومتر عندما يكون المؤشر فى منتصف التدريج.



ب- منظر علوى.



جـ - الجلفانومتر وقد تحول إلى ميللى أميتر.



د - منظر علوى.

شكل (١٠-١٢)
أشكال توضيحية للجلفانومتر

والأجزاء الرئيسية لهذا الجهاز (شكل ١٠-١٢) هى ملف من سلك رفيع ملفوف حول إطار مستطيل خفيف من الألومنيوم يمكن أن يدور حول محوره، ويوضع قلب من الحديد المطاوع Soft Iron على هيئة اسطوانة ثابتة، يرتكز الملف على حوامل من العقيق، بحيث يقع بين قطبى مغناطيس قوى على شكل حذاء الفرس Horse Shoe. ويتحكم فى حركته زوج من الملفات اللولبية (أو الزنبركية) تعمل كوصلات للتيار بالنسبة للملف. وتبعاً لاتجاه شدة التيار المراد قياسه يمكن للملف والمؤشر أن يتحركا فى إتجاه حركة عقارب الساعة أو فى عكس إتجاه حركة عقارب الساعة. ويلاحظ من الشكل أن القطبين المغناطيسيين الدائمين مقعران ، بحيث تكون خطوط الفيض المغناطيسى بينهما على هيئة أنصاف أقطار، مما يجعل كثافة الفيض المغناطيسى ثابتة فى الحيز الذى يتحرك فيه الملف مهما كانت زاوية الملف. وخطوط المجال موازية لمستوى الملف وعمودية على الضلعين الطوليين له. وهذا بدوره يجعل انحراف المؤشر يتناسب مع شدة التيار المار فى الملف. عندما يمر التيار الكهربى فى الملف من طرفه الأيمن فى إتجاه إلى داخل الورقة ليخرج من طرفه الأيسر فى إتجاه خارج الورقة فإن القوى المغناطيسية ستولد عزماً يعمل على دوران الملف فى إتجاه حركة عقارب الساعة. وسيتحرك المؤشر حتى يستقر أمام قراءة معينة فى الوضع الذى يتزن فيه هذا العزم مع عزم الإزدواج الناشىء عن لى الملفات الزنبركية الذى يعمل فى عكس إتجاه حركة عقارب الساعة. وتدل قراءة المؤشر على قيمة شدة التيار.

وعندما يمر التيار الكهربى فى الملف فى إتجاه مضاد يتحرك المؤشر فى عكس إتجاه حركة عقارب الساعة.

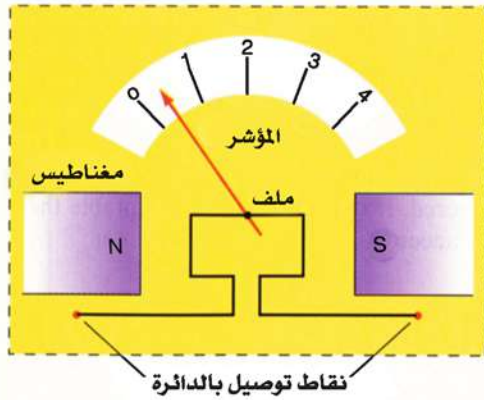
حساسية الجلفانومتر :

تعرف حساسية الجلفانومتر بزاوية انحراف مؤشره عن وضع الصفر عند مرور تيار فيه شدته الوحدة. وتساوى $\frac{\theta}{I}$ ووحداته درجة/ميكرو أمبير (deg /µA)

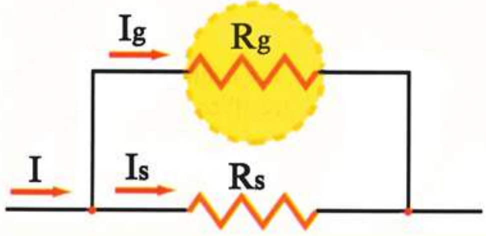
تطبيقات على الجلفانومتر:

أميتر التيار المستمر DC Ammeter :

يستخدم الجلفانومتر لقياس تيارات كهربية ضعيفة. ويمكن تحويل الجلفانومتر إلى أميتر لقياس تيارات شدتها عالية. فالأميتر هو جهاز يستخدم بعد معايرة تدريجه لقياس شدة التيار المار فى دائرته مباشرة. والجلفانومتر ذو الملف المتحرك يمكن النظر إليه كأميتر غير أنه محدود بحساسية ملفه المتحرك. ولزيادة مدى الجلفانومتر يكون ضرورياً إضافة مقاومة صغيرة جداً تسمى مجزىء التيار R_s توصل على التوازى مع ملف الجلفانومتر R_g كما فى الشكل (١٠-١٣).



أ- الجلفانومتر



ب- مجزىء التيار

شكل (١٠-١٣)
تحويل الجلفانومتر إلى أميتر

ويلاحظ أن توصيل مجزىء التيار على التوازى يجعل مقاومة الأميتر ككل صغيرة جداً. وهذا أمر مطلوب حتى لا تتغير شدة التيار المراد قياسه تغيرا ملحوظا بعد إدخال الأميتر فى الدائرة على التوالى.

كما أن الجانب الأعظم من هذا التيار يمر فى المجزىء، ويرمز له بالرمز I_s. ويمر فى ملف الجلفانومتر تيار صغير فقط شدته I_g. وعندما تكون النهاية العظمى للتيار المراد قياسه هى I فإن :

$$I = I_g + I_s$$

$$I_s = I - I_g$$

وعندما تكون مقاومة ملف الجهاز R_g ومقاومة مجزىء التيار R_s فإن :

$$I_s R_s = I_g R_g$$

$$R_s = \frac{I_g R_g}{I_s} .$$

لأن المقاومتين R_s , R_g متصلتان على التوازى، فيكون فرق الجهد بين طرفيهما واحداً.

ويمكن حل المعادلتين معاً لإيجاد مقاومة مجزىء التيار R_s نجد أن :

$$\mathbf{R_s = \frac{I_g R_g}{I - I_g}} \qquad (10\text{-}7)$$

مثال :

جلفانومتر مقاومة ملفه 2Ω يتطلب إنحرافه إلى نهاية تدريجه مرور تيار شدته 5mA ما هى مقاومة مجزىء التيار الذى يجب استخدامه لتحويل الجلفانومتر إلى أميتر النهاية العظمى لتدريجه 10A؟

الحل :

$$R_s = \frac{I_g\ R_g}{I - I_g} = \frac{0.005 \times 2}{10 - 0.005}$$

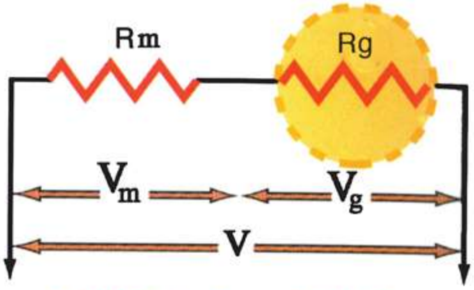
$$R_s = \frac{0.01}{9.995} = 0.001\ \Omega$$

فولتميتر التيار المستمر DC Voltmeter:

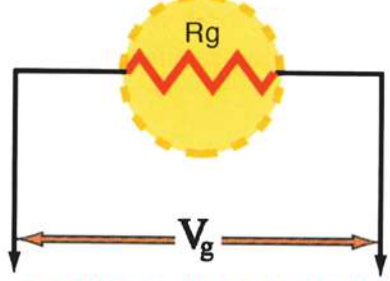
يمكن استخدام الجلفانومتر لقياس فروق جهد، ويسمى فى هذه الحالة الفولتميتر.

فالفولتميتر هو الجهاز الذى يستخدم لقياس فروق الجهد عبر أى نقطتين فى دائرة كهربية. وسنوضح هنا كيف يمكن تحويل الجلفانومتر ليستخدم لقياس فروق جهد أى لتحويله إلى فولتميتر. ويكون الطرف الموجب للجهاز متصلاً بالجهد الموجب فى الدائرة والسالب بالسالب. أما إذا انعكس فرق الجهد فلابد من عكس التوصيل.

من المسلم به أن فرق الجهد بين طرفى ملف الجلفانومتر صغير جداً حتى مع إنحراف مؤشره إلى نهاية التدريج. لهذا إذا اردنا استخدام الجلفانومتر لقياس فرق الجهد ينبغى تحويله أولاً إلى جهاز مقاومته عالية. ويترتب على هذا ألا يسحب الفولتميتر تياراً كبيراً من الدائرة الأصلية، وبالتالى لا يحدث تغيراً ملحوظاً فى فرق الجهد المطلوب قياسه. لذلك يوصل ملف الجلفانومتر على التوالى بمقاومة كبيرة جداً تعرف باسم المقاومة المضاعفة للجهد Multiplier Resistance، كما فى الشكل (١٠-١٤).



ب- الجلفانومتر بعد التحويل إلى فولتميتر



أ- الجلفانومتر قبل التحويل إلى فولتميتر

شكل (١٠-١٤)
تحويل الجلفانومتر إلى فولتميتر

ويوصل الڤولتميتر ذاته على التوازى مع جزء الدائرة المطلوب قياس فرق الجهد عليه. لذلك إذا كانت مقاومة ملف الجلڤانومتر هى R_g والمقاومة المضاعفة للجهد هى R_m وهى متصلة على التوالى مع R_g ، لذلك تكون اقصى شدة تيار يمر فيها I_g هى شدة التيار التى تلزم لجعل مؤشر الجهاز ينحرف حتى نهاية التدريج.

وعندئذ يكون فرق الجهد على ملف الجهاز هو :

$$V_g = I_g R_g$$

واقصى فرق جهد مطلوب قياسه.

$$V = I_g R_g + I_g R_m = V_g + I_g R_m$$

وعلى ذلك

$$R_m = \frac{V - V_g}{I_g} \qquad (10\text{-}8)$$

مثال :

جلڤانومتر مقاومة ملفه 0.1Ω أو يبلغ أقصى إنحراف له عندما يمر به تيار شدته 1mmA . احسب المقاومة المضاعفة للجهد اللازمة لتحويله إلى فولتميتر يصلح لقياس فرق جهد نهايته العظمى 50V

الحل :

$$V_g = I_g R_g = 0.001 \times 0.1 = 1 \times 10^{-4}\ V$$

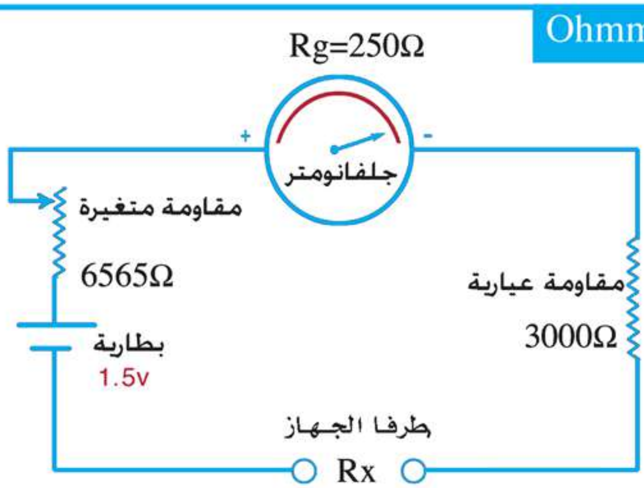
$$R_m = \frac{V - V_g}{I_g} = \frac{50 - 1 \times 10^{-4}}{1 \times 10^{-3}}$$

$$= 49999.9\ \Omega$$

يلاحظ هنا أن المقاومة الكلية للڤولتميتر هى :

$$R_{total} = 49999.9 + 0.1 = 50000\ \Omega$$

الأوميتر: Ohmmeter



شكل (١٠ - ١٥)

دائرة معايرة الأوميتر

يعتمد قياس مقاومة ما على شدة التيار التى تسرى فى الدائرة موضع الإختبار وعلى الإنخفاض فى الجهد Voltage Drop عبر المقاومة. وإذا علمنا أن شدة التيار المار I والانخفاض فى الجهد عبر المقاومة المجهولة V، فإن المقاومة R يمكن حسابها من قانون أوم $(R = V / I)$.

وإذا ظل فرق الجهد ثابتاً ومعلوماً يمكننا رفع الفولتميتر من الدائرة ومعايرة الجلفانومتر ليعطى قيمة المقاومة مباشرة (شكل ١٠- ١٥). فمع زيادة المقاومة تقل شدة التيار المار فى الدائرة. وتقل بالتالى قراءة الجلفانومتر الذى تتم معايرته بهذه الطريقة لتدل قراءته على قيمة المقاومة، ومن ثم يسمى "الأوميتر".

والأوميتر المعتاد موضح فى (الشكل ١٠-١٥). وهو بمثابة ميكرو اميتر يقرا 400μA كحد أقصى ومقاومته 250Ω ، موصل على التوالى مع 3000Ω ، وكذلك مع مقاومة متغيرة مداها 6565Ω ، وعمود كهربى جاف قوته الدافعة الكهربية 1.5 V مع إهمال مقاومته الداخلية.

وعندما يتم تلامس طرفى الاختبار للجهاز $(R_x = 0)$ يمر فى الدائرة تيار كهربى. ولكى ينحرف المؤشر إلى نهاية التدريج، ينبغى أن تكون مقاومة الدائرة $\frac{1.5}{400 \times 10^{-6}} = 3750\ \Omega$

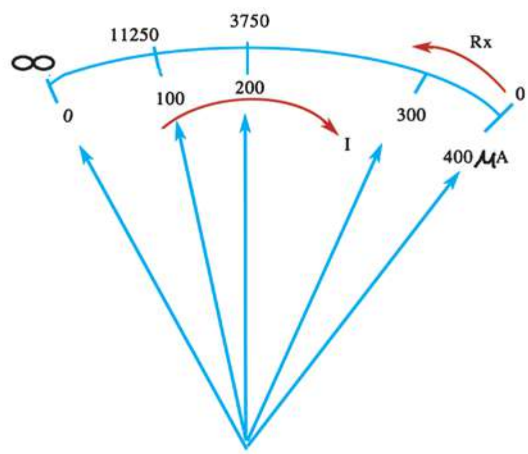
وتضبط المقاومة المتغيرة لينحرف المؤشر إلى نهاية التدريج حتى يتم تعويض الفرق بين هذه القيمة وا لمجموع $(250 + 3000\ \Omega)$ بضبط قيمة المقاومة المتغيرة = 500Ω

إذا أدخلت الآن أية مقاومة فى الدائرة سيمر تيار أقل شدة، وبالتالى سيكون المؤشر أقل

إنحرافاً. ولهذا يمكن معايرة الجهاز بدلالة قيمة المقاومة التى تم إدخالها. فإذا أدخلت مقاومة R_x تساوى مقاومة الدائرة 3750Ω سيمر فى الجهاز $200\mu A$ ، وسيبلغ الإنحراف نصف التدريج، وإذا استبدلت المقاومة بضعف قيمتها أى بضعف مقاومة الدائرة (7500Ω) سيبلغ الانحراف $\frac{1}{3}$ التدريج. ومع مقاومة تساوى 3 أمثال مقاومة الدائرة (11250Ω) سيبلغ الانحراف $\frac{1}{4}$ التدريج $100\mu A$

يلاحظ هنا أن التدريج المستخدم لقياس المقاومات شكل (١٠-١٦) هو عكس اتجاه تدريج التيار، بمعنى أن أقصى انحراف يقابل مقاومة منعدمة (عند تلامس طرفى الاختبار). وكلما زادت المقاومة قل الانحراف. ويلاحظ أيضاً أن أقسام التدريج ليست متساوية، حيث تتباعد فى الجهة اليمنى من التدريج، وتتقارب فى الجهة اليسرى.

$R_x(\Omega)$	$I\mu A$
0	400
3750	200
11250	100
∞	0



شكل (١٠-١٦)

تدريج الأوميتر

هذه الأنواع من أجهزة القياس والتى تعتمد على قراءة مؤشر تسمى أجهزة تناظرية Analog ومنها أجهزة تقيس الجهد والتيار والمقاومة Multimeter (شكل ١٠-١٧). ويوجد نوع آخر من الأجهزة يعتمد على قراءة أعداد رقمية تدل على قيمة الجهد أو التيار أو المقاومة على شاشة صغيرة بدون مؤشر، وتسمى هذه الأجهزة الأجهزة الرقمية، وتسمى أجهزة القياس الرقمية متعددة الأغراض Digital Multimeter (شكل ١٠-١٨)، وتعتمد على الإلكترونيات

الرقمية (الفصل الثامن) . وهذه الأجهزة جميعها تقيس الجهد أو التيار فى اتجاه واحد أى DC لذلك فإن هذه الأجهزة تسمى DC/Multimeter. أما إذا كان التيار أو الجهد متردداً AC، فإن الأجهزة المستخدمة حينئذ تسمى AC/Multimeter.



شكل (١٠ - ١٨)

جهاز قياس رقمى متعدد الأغراض



شكل (١٠ - ١٧)

جهاز قياس تناظرى متعدد الأغراض

تلخيص

التعاريف والمفاهيم الاساسية :

- يتولد مجال مغناطيسى حول سلك يمر به تيار كهربى.
- تزداد كثافة الفيض المغناطيسى الناشىء عن تيار كهربى يمر فى سلك مستقيم :

  (أ) بالإقتراب من السلك.

  (ب) بزيادة شدة التيار الكهربى.
- يمكن تعيين إتجاه المجال المغناطيسى الناشىء عن تيار كهربى يمر فى سلك مستقيم باستخدام قاعدة اليد اليمنى لأمبير.
- المجال المغناطيسى الناشىء عن مرور تيار كهربى فى سلك على شكل حلقة دائرية يشبه الى حد كبير المجال المغناطيسى لمغناطيس قصير.
- تتوقف كثافة الفيض المغناطيسى عند مركز ملف دائرى يمر به تيار كهربى على :

  (أ) عدد لفات الملف الدائرى.

  (ب) شدة التيار المار فى الملف الدائرى.

  (جـ) نصف قطر الملف الدائرى.
- يتعين إتجاه المجال المغناطيسى عند مركز ملف دائرى يمر به تيار كهربى باستخدام قاعدة بريمة اليد اليمنى.
- المجال المغناطيسى الناشىء عن مرور تيار كهربى فى سلك ملفوف لفاً حلزونياً يشبه الى حد كبير المجال المغناطيسى لقضيب مغناطيسى.
- تتوقف كثافة الفيض المغناطيسى عند أى نقطة على المحور داخل الملف اللولبى الذى يمر به تيار كهربى على كل من :

  (أ) شدة التيار المار.

  (ب) عدد اللفات فى وحدة الأطوال.
- لتعيين قطبية الملف اللولبى الذى يمر به تيار كهربى تستخدم قاعدة البريمة اليمنى.
- وحدة كثافة الفيض المغناطيسى Web / m^2 ، أو Tesla ، أو N/Am

- العوامل التى تتوقف عليها القوة التى يؤثر بها مجال مغناطيسى على سلك يمر به تيار كهربى موضوع فى المجال هى :

(أ) طول السلك. (ب) شدة التيار.

(جـ) كثافة الفيض المغناطيسى.

(د) الزاوية المحصورة بين السلك واتجاه المجال المغناطيسى.

- الجلفانومتر ذو الملف المتحرك : جهاز يستخدم للاستدلال على وجود تيارات ضعيفة جداً فى دائرة ما وقياس شدتها وتحديد إتجاهها.
- تعتمد فكرة الجلفانومتر ذو الملف المتحرك على عزم الازدواج المؤثر فى ملف قابل للحركة فى مجال مغناطيسى.
- حساسية الجلفانومتر تقاس بزاوية إنحراف مؤشره عند مرور تيار فى ملفه شدته الوحدة.
- الأميتر : جهاز يستخدم بعد معايرة تدريجه لقياس شدة التيار المار فى دائرة مباشرة، وهو أساساً جلفانومتر ذو ملف متحرك.
- لزيادة مدى الجلفانومتر توصل مقاومة صغيرة جداً. تسمى مجزىء التيار على التوازى مع ملفه.
- مقاومة الأميتر (مع مجزىء التيار) صغيرة جداً. ولذلك لا تؤثر تأثيرا ملحوظا فى تيار الدائرة عند توصيله على التوالى فيها.
- الفولتميتر : جهاز يستخدم لقياس فروق الجهد عبر أى نقطتين فى دائرة كهربية وهو أساساً جلفانومتر ذو ملف متحرك يوصل مع ملفه على التوالى مقاومة كبيرة جداً تسمى المقاومة المضاعفة للجهد.
- نظراً لكبر مقاومة الفولتميتر فإنه لا يسحب تياراً يذكر من الدائرة الأصلية عند توصيله على التوازى مع جزء الدائرة المطلوب قياس فرق الجهد عليه.
- الأوميتر : جهاز يستخدم لقياس قيمة مقاومة مجهولة.
- الأوميتر هو ميكرو أميتر يوصل على التوالى مع مقاومة ثابتة وأخرى متغيرة وعمود جاف قوته الدافعة 1.5V ، فينحرف مؤشره إلى نهاية التدريج إذا تلامس طرفاه بدون مقاومة. وإذا أدخلت مقاومة بين طرفيه تقل شدة التيار ويقل إنحراف موشره، وهو معاير لقراءة قيمة المقاومة مباشرة.

القوانين والعلاقات الهامة :

- تتعين كثافة الفيض المغناطيسى B عند نقطة بعدها العمودى d متر عن سلك مستقيم يمر به تيار شدته I أمبير من العلاقة ، $B = \frac{\mu I}{2\pi d}$ weber/m^2 (or Tesla)

- تتعين كثافة الفيض المغناطيسى عند مركز ملف دائرى نصف قطره r وشدة التيار I المار فيه وعدد لفاته N من العلاقة ،

$$B = \frac{\mu N I}{2r} \quad \text{(Tesla)}$$

- تتعين كثافة الفيض المغناطيسى عند اى نقطة على المحور داخل ملف لولبى عدد لفاته N وطوله ℓ ويمر به تياركهربى B من العلاقة ،

$$B = \frac{\mu I N}{\ell} \quad \text{(Tesla)}$$

- تتعين القوة المؤثرة على سلك طوله ℓ يحمل تياراً كهربياً I وموضوعاً فى مجال مغناطيسى كثافة فيضه B من العلاقة ،

$$F = B I \ell \sin\theta$$

حيث θ هى الزاوية المحصورة بين السلك واتجاه المجال المغناطيسى.

- يعطى عزم الازدواج المؤثر على ملف مستطيل مساحة وجهه A وعدد لفاته N يمر به تيار كهربى I موضوع موازياً لمجال مغناطيسى كثافة فيضه B بالعلاقة.

$$\tau = B I A N = \vec{m}_d B \quad \text{Nm}$$

حيث $\vec{m}_d = I A N$ هو عزم ثنائي القطب المغناطيسى عمودياً على مستوى الملف.

- تتعين مقاومة مجزىء التيار فى الأميتر من العلاقة $R_s = \frac{I_g R_g}{I - I_g}$ ، حيث R_s مقاومة مجزىء التيار، I_g اقصى تيار يتحمله ملف الجلفانومتر، R_g مقاومة ملف الجلفانومتر، I شدة التيار الكلية.

- تتعين المقاومة المضاعفة للجهد فى الفولتميتر من العلاقة $R_m = \frac{V - V_g}{I_g}$

حيث R_m المقاومة المضاعفة للجهد، V الجهد الكلى ، V_g فرق الجهد على ملف الجهاز، I_g شدة التيار التى تلزم لجعل مؤشر الجلفانومتر ينحرف إلى نهاية التدريج.

اســـــئلة وتمـارين

أولا: أسئلة المقال

١- ما هى العوامل التى تتوقف عليها كثافة الفيض المغناطيسى فى كل حالة من الحالات الآتية :

(أ) حول سلك مستقيم يمر به تيار كهربى.

(ب) عند مركز ملف دائرى يمر به تيار كهربى.

(جـ) عند أى نقطة على المحور داخل الملف اللولبى الذى يمر به تيار كهربى.

٢- ما هى العوامل التى تتوقف عليها القوة التى يؤثر بها مجال مغناطيسى على سلك يمر به تيار كهربى موضوع عمودياً على اتجاه المجال ؟

٣- اثبت أن القوة التى يؤثر بها مجال مغناطيسى كثافة فيضه B على سلك مستقيم طوله ℓ يمر به تيار كهربى I موضوع عمودياً على اتجاه المجال تتعين من العلاقة.

$$F = B I \ell$$

٤- اثبت أن عزم الأزدواج المؤثر على ملف عدد لفاته N ومساحة مقطعة A يمر به تيار كهربى شدته I موضوع موازياً لمجال مغناطيسى منتظم كثافه فيضه B تعطى من العلاقة.

$$\tau = B I A N$$

٥ - صف مع الرسم تركيب الجلفانومتر الحساس موضحاً فكرة عمله.

٦ - اشرح كيف يمكن تحويل الجلفانومتر الحساس إلى أميتر مع استنتاج العلاقة المطلوبة.

٧ - اشرح كيف يمكن تحويل الجلفانومتر الحساس إلى فولتميتر مع استنتاج العلاقة المستخدمة.

٨ - علل لما يأتى :

(أ) وجود اسطوانة من الحديد المطاوع داخل ملف الجلفانومتر.

(ب) يتصل ملف الجلفانومتر ذى الملف المتحرك من أسفل بسلك زنبركى.

(جـ) عند استخدام الجلفانومتر ذى الملف المتحرك كفولتميتر توصل مقاومة كبيرة على التوالى مع ملف الجلفانومتر.

(د) يدمج الأميتر على التوالى فى الدائرة بينما يدمج الفولتميتر على التوازى.

(هـ) توصل مقاومة عيارية بالأوميتر.

(و) يجب أن تكون القوة الدافعة الكهربية للعمود المتصل بالأوميتر ثابتة.

٩ - ماذا يقصد بكل من :

المقاومة المضاعفة للجهد - مجزىء التيار.

وما فائدة كل منهما ؟ استنبط القانون الخاص بكل منهما.

١٠ - اشرح كيف يمكنك استخدام الجلفانومتر ذى الملف المتحرك فى قياس كل من شدة التيار الكهربى - القوة الدافعة الكهربية - المقاومة الكهربية.

ثانيا: المسائل

١ - ملف مساحة مقطعه $0.2m^2$ وضع عمودياً على خطوط فيض مغناطيسى منتظم كثافته $0.04 Weber/m^2$ احسب الفيض المغناطيسى الذى يمر خلال الملف.
(0.008 Weber).

٢ - سلك طوله 10 cm يمر به تيار شدته 5A وضع فى مجال مغناطيسى كثافة فيضه 1 Tesla. احسب القوة المؤثرة على السلك عندما يكون :

(أ) السلك فى وضع عمودى على المجال المغناطيسى (0.5 N)

(ب) السلك يصنع زاوية 45° مع المجال. (0.356 N)

(جـ) السلك مواز لخطوط المجال المغناطيسى (صفر)

٣ - سلك مستقيم قطره 2 mm يمر به تيار شدته 5A احسب كثافة الفيض المغناطيسى على بعد 0.2 m (5×10^{-6} Tesla)

٤- ملف دائرى نصف قطره 0.1m يمر به تيار شدته 10A احسب كثافة الفيض المغناطيسى عند مركزه (علما بان الملف يتكون من لفة واحدة) .

($2 \pi \times 10^{-5}$ Tesla)

٥- ملف لولبى طوله 50cm عدد لفاته 4000 لفة يمر به تيار شدته 2A احسب كثافة الفيض المغناطيسى عند نقطة بداخله وعلى محوره. (0.02Tesla)

٦- ملف مستطيل طوله 12cm وعرضه 10cm وعدد لفاته 50 لفة يمر به تيار شدته 3A وضع فى مجال مغناطيسى منتظم كثافة فيض 0.4 Tesla احسب العزم المغناطيسى المؤثر عليه عندما يكون مستوى الملف موازياً للمجال (0.72Nm)

٧- جلفانومتر مساحة مقطع ملفه $(12 \times 5)\ cm^2$ معلق فى مجال مغناطيسى كثافة فيضه 0.1 Tesla فإذا كان عدد لفاته 600 لفة احسب شدة التيار اللازم لتوليد عـــــزم ازدواج قـــــدره 1Nm

(2.78 A)

٨- ملف عدد لفاته 500 لفة يمر به تيار شدته 10A وضع فى مجال مغناطيسى كثافة فيضه 0.25Tesla ، فإذا كانت مساحة مقطعه $0.2m^2$ احسب عزم الأزدواج المؤثر عليه عندما تكون الزاوية بين العمودى على الملف وا لمجال 30°

(125 Nm)

٩ - ملف أميتر لا يتحمل تياراً اكبر من 40 mA فإذا كانت مقاومة ملفه 0.5 Ω يراد استخدامه لقياس تيار شدته 1A كم تكون مقاومة مجزىء التيار اللازم لذلك؟

(0.021 Ω)

١٠ - جلفانومتر يمر به تيار شدته 0.02A لينحرف مؤشره إلى نهاية التدريج، وعندئذ يكون الفرق فى الجهد بين طرفيه 5V ، كم تكون قيمة المقاومة المضاعفة للجهد التى تجعله صالحاً لقياس فرق جهد قدره 150V ؟

(7250 Ω)

١١- فولتميتر معد لقراءة 150V عند انحراف مؤشره إلى نهايته، فإذا كانت مقاومة ملفه 50Ω ، وكانت شدة التيار المار فيه 4×10^{-4} A ، احسب قيمة المقاومة المضاعفة للجهد اللازمة لذلك.

(374950 Ω)

١٢- جلفانومتر مقاومة ملفه 0.1Ω ويقرا عند نهاية تدريجه تياراً شدته 5A أردنا زيادة قراءته بمقدار 10 أمثال. ما قيمة مقاومة مجزىء التيار اللازمة؟

$(0.0111\ \Omega)$

١٣- اميتر مقاومته $30\ \Omega$ احسب قيمة مقاومة مجزىء التيار اللازم لإنقاص اقصى قراءة إلى الثلث (انقاص الحساسية). وما مقدار المقاومة الكلية المكافئة للاميتر والمجزىء حينئذ؟

$(15\ \Omega\ ,\ 10\ \Omega)$

١٤- جلفانومتر مقاومته $54\ \Omega$ إذا وصل بمجزىء للتيار (ا) يمر فى الجلفانومتر 0.1 من التيار الكلى، أما إذا وصل بمجزىء آخر (ب) فإن التيار الذى يمر فيه يصبح 0.12 من التيار الكلى، اوجد مقدار كل من المقاومتين (ا) ، (ب).

$(6\ \Omega$ ، $7.63\ \Omega)$

١٥- جلفانومتر ذو ملف متحرك مقاومته $50\ \Omega$ ينحرف مؤشره إلى نهاية تدريجه عندما يمر به تيار شدته 0.5A كيف يمكن تحويله بحيث يقيس :

(ا) فروق فى الجهد اقصاها 200V (توصل مقاومة $350\ \Omega$ على التوالى).

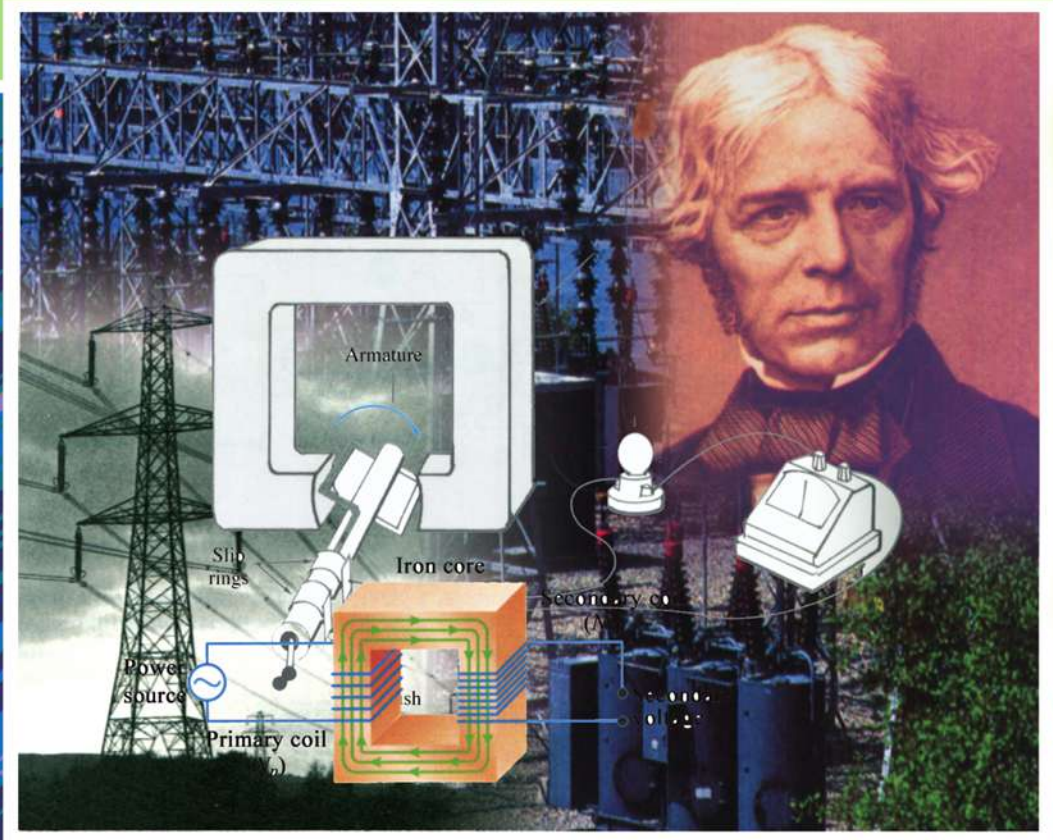
(ب) تيار كهربى شدته 2A (توصل مقاومة $16.6\ \Omega$ على التوازى).

١٦- مللى اميتر مقاومته $5\ \Omega$ اقصى تيار يتحمله ملفه 15 mA يراد تحويله إلى اوميتر باستخدام عمود قوته الدافعة الكهربية 1.5 V ومقاومته الداخلية $1\ \Omega$ ، احسب قيمة المقاومة العيارية اللازمة والمقاومة الخارجية التى تجعل مؤشره ينحرف إلى 10mA وكذلك شدة التيار المار به إذا وصل بمقاومة خارجية مقدارها $400\ \Omega$

(3 mA ، $50\ \Omega$ ، $94\ \Omega$)

الوحدة الثانية

الكهربية التيارية والكهرومغناطيسية



الفصل الرابع : الحث الكهرومغناطيسى

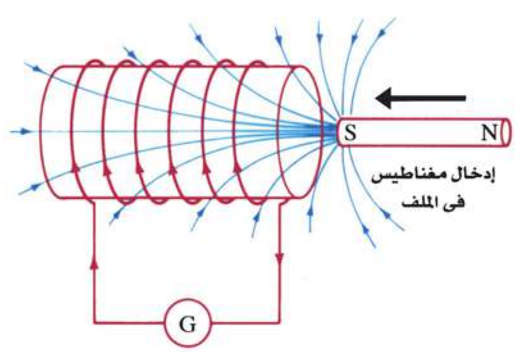
الفصـل الرابع
الحث الكهرومغناطيسى

مقدمة :

رأينا أن مرور تيار كهربى فى موصل يسبب مجالاً مغناطيسياً. وبمجرد اكتشاف أورستد **Oersted** للارتباط بين المجالات الكهربية والمغناطيسية، ظهر تساؤل: هل من الممكن أن يولد مجال مغناطيسى تيارًا كهربيًا ؟، وهو ما أجاب عليه فاراداى **Faraday** فى أحد أعظم الانتصارات فى الفيزياء، وهو اكتشاف الحث الكهرومغناطيسى **Electromagnetic Induction**، الذى تبنى عليه فكرة عمل وتشغيل معظم الأجهزة الكهربية كالمولدات والمحولات الكهربية.

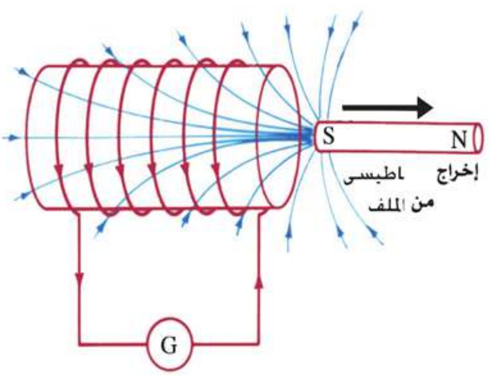
تجربة فاراداى :

قام فاراداى بإعداد ملف من سلك من النحاس، لفاته معزولة عن بعضها البعض، وعندما انتهى من إعداده، قام بتوصيل طرفيه بجلفانومتر حساس صفر تدريجه فى المنتصف شكل (١١-١). وعندما أدخل فاراداى مغناطيساً فى الملف، لاحظ أثناء ادخاله أن مؤشر الجلفانومتر ينحرف انحرافاً لحظياً فى اتجاه معين، وعندما أخرج فاراداى المغناطيس من الملف لاحظ أثناء اخراجه أن مؤشر الجلفانومتر ينحرف فى الاتجاه المضاد. هذه الظاهرة أطلق عليها اسم "الحث الكهرومغناطيسى". حيث تتولد قوة دافعة كهربية مستحثة، Induced emf وكذلك يتولد تيار كهربى



شكل (١١-أ)

عند دخول المغناطيس



شكل (١١-ب)

عند خروج المغناطيس

مستحث فى الملف أثناء ادخال المغناطيس فى الملف أو اخراجه منه، بحيث يكون رد الفعل فى إتجاه يعارض الفعل، فإن كان المغناطيس يدخل فإن المجال المغناطيسى المستحث يعمل على مقاومة الإدخال، وإن كان المغناطيس يخرج فإن المجال المغناطيسى المستحث يعمل على استبقاء المغناطيس أو جذبه للداخل.

وبعد تفكير توصل فاراداى إلى أن القوة الدافعة الكهربية المستحثة وكذلك التيار الكهربى المستحث يتولدان فى الدائرة كنتيجة لقطع لفات السلك خطوط الفيض المغناطيسى أثناء حركة المغناطيس.

قانونا فاراداى

ومن خلال تجارب عديدة أمكن لفاراداى استخلاص ما يلى :

١ - الحركة النسبية بين الموصل والمجال المغناطيسى الذى يتغير فيها المعدل الزمنى الذى يقطع به الموصل خطوط الفيض تولد قوة دافعة مستحثة فى الموصل. ويتوقف اتجاهها على إتجاه حركة الموصل.

٢ - يتناسب مقدار القوة الدافعة المستحثة طردياً مع المعدل الزمنى الذى يقطع به الموصل خطوط الفيض. أى أن :

$$emf \propto \frac{\Delta \phi_m}{\Delta t}$$

حيث emf متوسط القوة الدافعة المستحثة ، $\Delta \phi_m$ التغير فى خطوط الفيض المقطوعة خلال الزمن Δt

٣ - مقدار القوة الدافعة المستحثة يتناسب طردياً مع عدد لفات الملف الذى يقطع خطوط الفيض أى أن :

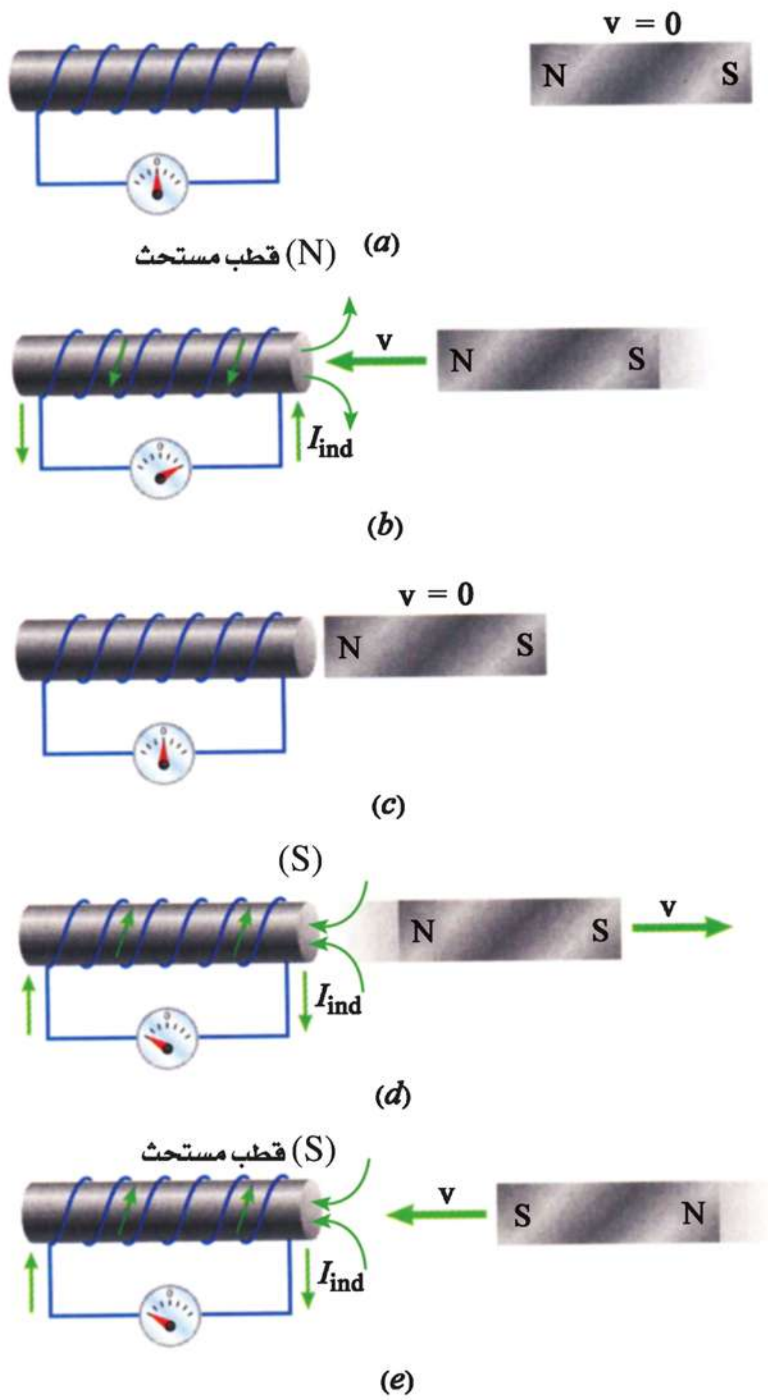
$$emf \propto N$$

وبالتالى يمكن بتحليل النتائج السابقة استنتاج العلاقة :

$$emf = -N \frac{\Delta \phi_m}{\Delta t} \qquad (11 - 1)$$

وهو ما يعرف بقانون فاراداى للحث الكهرومغناطيسى.

تدل الاشارة السالبة فى هذا القانون على أن اتجاه القوة الدافعة المستحثة (وأيضاً اتجاه التيار المستحث) يعاكس التغير المسبب له. وهو ما يعرف بقاعدة لنز **Lenz's Rule**



شكل (١١-٢)

قاعدة لنز

قاعدة لنز Lenz's Rule :

تنص قاعدة لنز على ما يلى :

يكون اتجاه التيار الكهربى المستحث بحيث يعاكس التغير المسبب له.

ويوضح شكل (١١ -٢) تطبيقاً مباشراً لقاعدة لنز. فعند تقريب القطب الشمالى للمغناطيس من الملف، يمر التيار الكهربى المستحث المتولد فى الملف فى اتجاه بحيث يكون قطباً شمالياً عند طرف الملف المواجه للقطب الشمالى للمغناطيس. فتعمل قوة التنافر بين القطبين المتشابهين على مقاومة حركة تقريب هذا القطب.

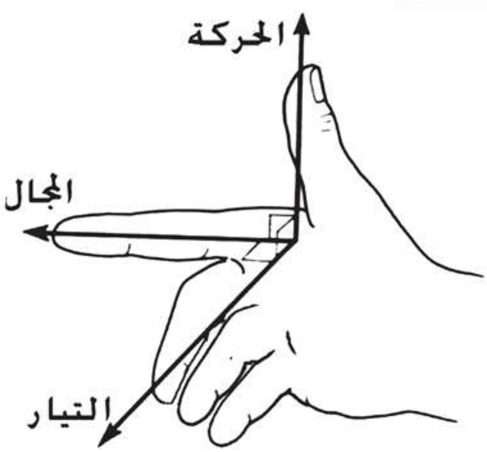
وعند إبعاد القطب الشمالى للمغناطيس عن الملف يكون اتجاه التيار المستحث المتولد فى الملف فى اتجاه بحيث يكون قطباً جنوبياً. فتعمل قوة التجاذب بين القطبين المختلفين (شمالى وجنوبى) على الاحتفاظ بالمغناطيس، أى مقاومة حركة إبعاد القطب المؤثر.

اتجاه التيار المستحث فى سلك مستقيم :

بين فاراداى فى واحدة من تجاربه العديدة أن التيار الكهربى المستحث فى سلك مستقيم يسرى فى إتجاه عمودى على المجال المغناطيسى. وبعد ذلك بعدة سنوات اختار فليمنج هذه التجربة لوضع قاعدة بسيطة تربط بين إتجاه حركة السلك واتجاه المجال واتجاه التيار المستحث. تعرف هذه القاعدة باسم قاعدة اليد اليمنى لفليمنج وهى :

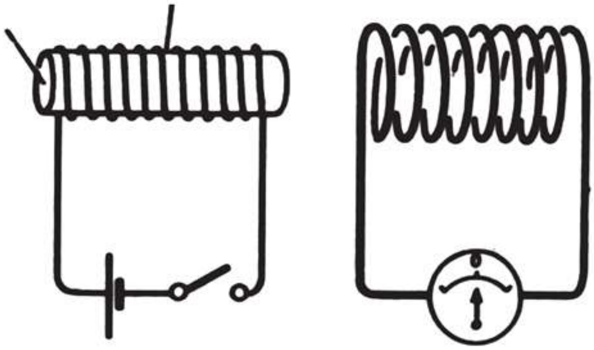
قاعدة اليد اليمنى لفليمنج Fleming's Right Hand Rule:

اجعل أصابع اليد اليمنى الابهام والسبابة والوسطى (ومعه باقى الأصابع) متعامدة على بعضها البعض بحيث تشير السبابة إلى اتجاه المجال والابهام إلى اتجاه الحركة، وعندئذ يشير الأوسط (ومعه باقى الأصابع) إلى اتجاه التيار المستحث (شكل ١١-٣).



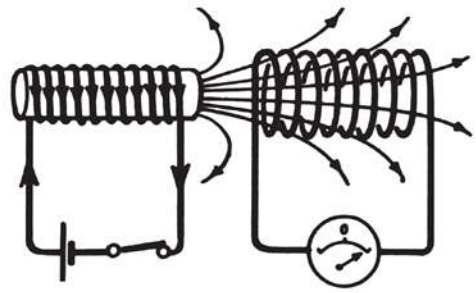
شكل (١١-٣)
قاعدة اليد اليمنى لفليمنج

الحث المتبادل Mutual Induction بين ملفين



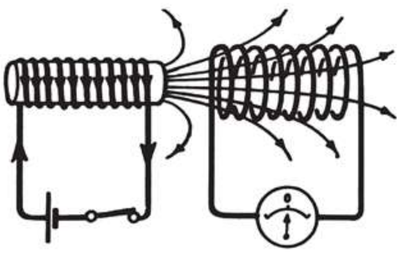
شكل (١١-٤أ)

أ) فى حالة عدم وجود تيار فى الملف الأول لا توجد قوة دافعة كهربية فى الملف الثانى



شكل (١١-٤ب)

ب) لحظة غلق دائرة الملف الأول فإن قوة دافعة كهربية تتولد فى الملف الثانى



شكل (١١-٤جـ)

جـ) بعد استقرار الفيض المغناطيسى فإن التيار فى الملف الثانى ينعدم

إذا وضع ملفان أحدهما داخل الآخر أو أحدهما بالقرب من الآخر كما فى شكل (١١-٤) فإن تغير شدة التيار الكهربى فى أحدهما يولد قوة دافعة كهربية مستحثة فى الآخر. وتبعاً لقانون فاراداى، تتناسب القوة الدافعة الكهربية المستحثة مع معدل التغير فى الفيض المغناطيسى المار به. ونظراً لأن الفيض المغناطيسى يتناسب طردياً مع شدة التيار فى الملف الأول. فإن القوة الدافعة الكهربية المستحثة تتناسب مع معدل التغير فى شدة التيار فى الملف الأول.

ولهذا يكون :

$$(emf)_2 \propto \frac{\Delta I_1}{\Delta t}$$

$$(emf)_2 = - M \frac{\Delta I_1}{\Delta t} \qquad (11 - 2)$$

حيث **M** معامل الحث المتبادل بين الملفين. ووحدته تكافىء VsA^{-1} وهو ما يسمى بالهنرى **Henry**. فالهنرى هو وحدة قياس معامل الحث بصفة عامة.

وتدل الاشارة السالبة - كما تقتضى قاعدة - لنز على أن اتجاه القوة الدافعة المستحثة أو اتجاه التيار المستحث يكون بحيث يقاوم التغير المسبب له.

ويتوقف معامل الحث المتبادل بين ملفين على العوامل الآتية :

١ - وجود قلب من الحديد **Core** داخل الملفين.

٢ - حجم وعدد لفات الملفين **Coils**.

٣ - المسافة الفاصلة بينهما.

ويعد المحول الكهربى أوضح مثال للحث المتبادل.

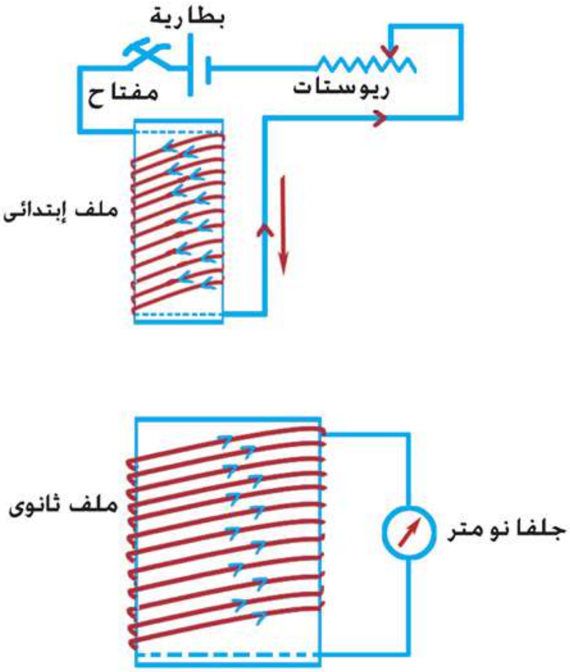
تجربة دراسة الحث المتبادل بين ملفين

ويمكن دراسة الحث المتبادل بين ملفين تجريبياً كما يلى :

يوصل أحد الملفين ببطارية ومفتاح وريوستات. وعندئذ يعرف هذا الملف بالملف الابتدائى. ويوصل الملف الثانى بجلفانومتر حساس، صفره فى المنتصف، ويعرف هذا الملف بالملف الثانوى شكل (١١-٥). ثم نتبع الخطوات التالية:

١ - تقفل دائرة الملف الابتدائى. وبتقريب (أو ادخال) الملف الابتدائى من (أو فى) الملف الثانوى، يلاحظ إنحراف مؤشر الجلفانومتر فى إتجاه معين مما يدل على أن قوة دافعة مستحثة تولدت فى الملف الثانوى، نتيجة لتغير خطوط الفيض المغناطيسى التى تمر بلفات هذا الملف. وعند إبعاد (أو إخراج) الملف الابتدائى عن (أو من) الملف الثانوى، ينحرف مؤشر الجلفانومتر فى اتجاه مضاد.

٢ - يتم ادخـــال الملف الابتـــدائى فى الملف الثانوى، وتزاد شدة التيار المار فى الملف الابتدائى، فينحرف مؤشر الجلفانومتر فى الملف الثانوى فى إتجاه معين، وعند إنقـاص شـدة التيـــار المار فى الملف الابتدائى ينحرف مؤشـر الجلفانومـتـر فى الإتجـاه المضـاد. مما يدل على تولد قوة دافعة مستحثة فى الملف الثانوى أثناء زيادة شـــدة التـــيـــار فى الملف الابتدائى أو أثناء إنقاصه.



شكل (١١-٥)

دراسة الحث المتبادل بين ملفين

٣ - مع وجـــود الملف الإبتـدائى داخل الملف الثـانوى، تقـفل دائرة الملف الابتـدائى. عندئذ ينحرف مؤشر الجلفانومتر فى إتجـــاه مـــعين، ثم تفـتـح دائرة الملف الابتـــدائى، وعندئذ ينحـــرف مـــؤشـــر الجلفـانومتـر فى إتجـاه مـضـاد، مما يدل على أن قوة دافعة مستحثة تتولد فى الملف الثانوى أثناء قفل الدائرة أو فتحها. وبتحليل الملاحظات السابقة نجد ما يلى :

١ - ينحرف مؤشر الجلفانومتر فى اتجاه معين فى الحالات الآتية :

أ) أثناء تقريب أو ادخال الملف الابتدائى فى الملف الثانوى.

ب) أثناء زيادة شدة التيار فى الملف الابتدائى.

جـ) عند قفل الدائرة الابتدائية أثناء وجود الملف الابتدائى داخل (أو قرب) الملف الثانوى.

تتولد فى جميع هذه الحالات قوة دافعة كهربية فى الملف الثانوى عند حدوث أى تغير موجب فى الفيض المغناطيسى الذي يقطعه الملف الثانوى. ويكون إتجاه القوة الدافعة الكهربية المستحثة وإتجاه التيار المستحث فى إتجاه عكسى (أى فى عكس اتجاه التيار بالملف الابتدائى)،

حتى يكون المجال المغناطيسى المستحث فى اتجاه مضاد ليقاوم زيادة المجال المغناطيسى المؤثر.

٢ - ينحرف مؤشر الجلفانومتر فى الإتجاه المضاد فى الحالات الآتية :

أ) أثناء إبعاد أو إخراج الملف الابتدائى من الملف الثانوى.

ب) أثناء نقص شدة التيار فى الملف الابتدائى.

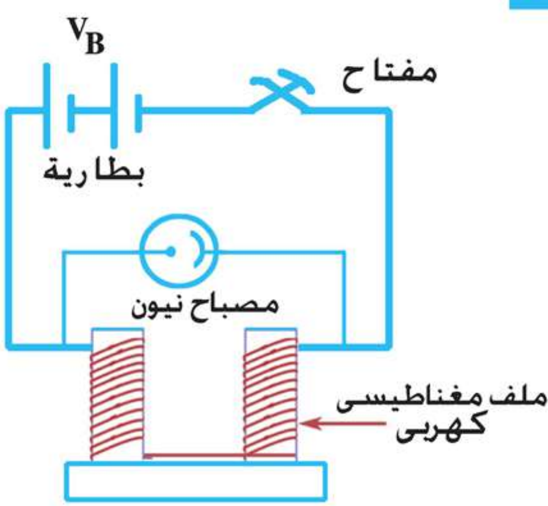
جـ) عند فتح الدائرة الابتدائية أثناء وجود الملف الابتدائى داخل (أو قرب) الملف الثانوى.

وهى الحالات التى تتناقص فيها شدة المجال المغناطيسى المؤثر. ويكون اتجاه القوة الدافعة الكهربية المستحثة وإتجاه التيار المستحث فى إتجاه طردى، حتى يكون المجال المغناطيسى الناشىء عنه فى نفس الاتجاه ليقاوم تناقص المجال المغناطيسى المؤثر.

وهذه الملاحظات توضح قاعدة لنز حيث يكون اتجاه التيار المستحث بحيث يقاوم التغير المسبب له.

الحث الذاتى Self Induction لملف :

يمكن إدراك ما نعنيه بالحث الذاتى لملف بتوصيل ملف مغناطيس كهربى قوى (عدد لفاته كبير) على التوالى مع بطارية ومفتاح ليمر به تيار كهربى كما فى شكل (١١-٦). يتولد عن مرور التيار الكهربى فى الملف مجال مغناطيسى قوى حيث تعمل كل لفة كمغناطيس قصير بحيث تقطع اللفات المجاورة



شكل (١١-٦)

توضيح أثر الحث الذاتى فى ملف

خطوط الفيض المغناطيسى له. عند فتح الدائرة يلاحظ مرور شرر كهربى بين طرفى المفتاح. يفسر هذا بأن قطع التيار الكهربى فى دائرة الملف يؤدى إلى تلاشى المجال المغناطيسى للفاته،

فيتغير المعدل الزمني الذى تقطع به كل لفة خطوط الفيض، فتتولد فيها قوة دافعة مستحثة.

والقوة الدافعة المستحثة فى لفات الملف ككل ناتجة عن الحث الذاتى للملف نفسه.

هذه القوة الدافعة المستحثة الناشئة عن الحث الذاتى للملف عند قطع التيار فيه - أى عند فتح الدائرة - تعمل تبعاً لقاعدة لنز على توليد تيار تأثيرى فى نفس إتجاه التيار الأصلى مما يؤدى إلى ظهور شرر عند طرفى المفتاح.

وعندما يكون عدد لفات الملف كبيراً، تكون القوة الدافعة المستحثة عند قطع التيار emf_1 أكبر كثيراً من القوة الدافعة الكهربية (V_B) للبطارية، وقد تسبب توهج مصباح نيون يوصل على التوازى بين طرفى الملف (يتطلب مصباح النيون لتوهجه جهداً يصل إلى حوالى 180 فولت).

ونظراً لأن القوة الدافعة الكهربية المستحثة تتناسب طردياً مع المعدل الزمنى لتغير الفيض المغناطيسى ـ الذى يتناسب بدوره مع المعدل الزمنى لتغير التيار فى الملف ـ فإن القوة الدافعة المتولدة بالحث الذاتى تتناسب طردياً مع المعدل الزمنى لتغير التيار فى الملف أى أن :

$$(emf)_1 \propto \frac{\Delta I_1}{\Delta t}$$

$$\therefore (emf)_1 = - L \frac{\Delta I_1}{\Delta t} \qquad (11 - 3)$$

حيث L ثابت التناسب، ويعرف بمعامل الحث الذاتى للملف. وتدل الإشارة السالبة على أن القوة الدافعة المستحثة تعاكس التغير المسبب لها (قاعدة لنز). ويعبر عن L بالعلاقة

$$L = - \frac{emf}{\Delta I / \Delta t} \qquad (11 - 4)$$

أى أن معامل الحث الذاتى للملف يقدر بالقوة الدافعة الكهربية المستحثة، عندما يكون المعدل الزمنى لتغير التيار يساوى الوحدة (أى عندما يتغير التيار بمقدار أمبير واحد فى الثانية) ويقاس الحث الذاتى لملف بوحدة تسمى الهنرى.

الهنرى Henry :

هو معامل الحث الذاتى لملف حين تتولد قوة دافعة مستحثة تساوى فولت واحد عندما يتغير التيار بمعدل أمبير واحد فى الثانية.

أى أن :

$$\text{واحد هنرى} = \frac{\text{واحد فولت . ثانية}}{\text{أمبير}}$$

$$1H = Vs/A$$



العالم هنرى

ويتوقف معامل الحث الذاتى لملف على شكله الهندسى، وعلى عدد لفاته، وعلى المسافة بين اللفات، أى على طول الملف، وعلى نفاذية القلب المغناطيسية.

ومن تطبيقات الحث الذاتى إضاءة المصباح الفلورسنت، حيث يتم تفريغ الطاقة المغناطيسية المختزنة فى الملف فى أنبوبة مفرغة من الهواء، وبها غاز خامل، مما يسبب تصادمات بين ذراته، تؤدى إلى تأينها واصطدامها مع سطح الأنبوبة المطلى بالمادة الفلورسية، مما يؤدى إلى إنبعاث الضوء المرئى. كما يتم الاستفادة من ظاهرة الحث الكهرومغناطيسى فى عمل جهاز يسمى ملف الحث (رومكورف) الذى يستخدم كملف إشعال فى آلات الاحتراق الداخلى كالسيارات.

التيارات الدوامية : Eddy Currents

إذا تم تغيير عدد خطوط الفيض المغناطيسى التى تخترق قطعة معدنية، تتولد فيها تيارات مستحثة، تسمى التيارات الدوامية. والتغير فى عدد خطوط الفيض المغناطيسى المقطوعة يتم إما بتحريك القطعة المعدنية فى مجال مغناطيسى ثابت، وإما بتعريض القطعة المعدنية لمجال مغناطيسى متغير، وليكن المجال المغناطيسى الناشىء عن تيار متردد.

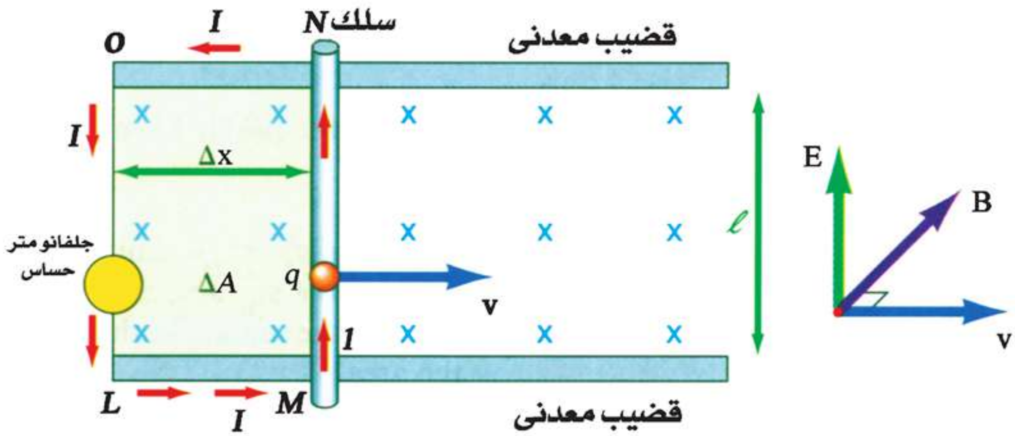
ويستفاد من التيارات الدوامية فى صهر الفلزات فيما يسمى بأفران الحث **Induction Furnaces**.

القوة الدافعة الكهربية المستحثة فى سلك مستقيم متحرك :

إذا وضع سلك طوله ℓ عموديا على مجال مغناطيسى منتظم كثافة فيضه **B** (اتجاهه

عمودى على الورقة إلى الداخل) (شكل ١١-٧)، وتم تحريك السلك فى اتجاه عمودى على المجال بسرعة **v**، بحيث أزيح مسافة قدرها **Δx** فى زمن قدره **Δt**، فإن التغير في المساحة يكون:-

$$\Delta A = \ell \Delta x$$



شكل (١١-٧)

توليد e.m.f مستحثة فى سلك مستقيم

ويكون التغير فى الفيض هو :

$$\Delta \phi_m = B \Delta A = B \ell \Delta x$$

وتتعين القوة الدافعة الكهربية عندئذ من العلاقة :

$$emf = - \frac{\Delta \phi_m}{\Delta t}$$

$$emf = - \frac{B \ell \Delta x}{\Delta t} = - B \ell v$$

حيث **v** هى السرعة التى يتحرك بها السلك. والإشارة السالبة ضرورية لمراعاة قاعدة لنز. وبالتالى يكون مقدار القوة الدافعة هى :

$$emf = B\ell v \qquad (11 - 5)$$

وإذا كانت الزاوية بين إتجاه السرعة التى يتحرك بها السلك واتجاه كثافة الفيض هى θ فإن :

$$emf = B\ell v \sin\theta \qquad (11 - 6)$$

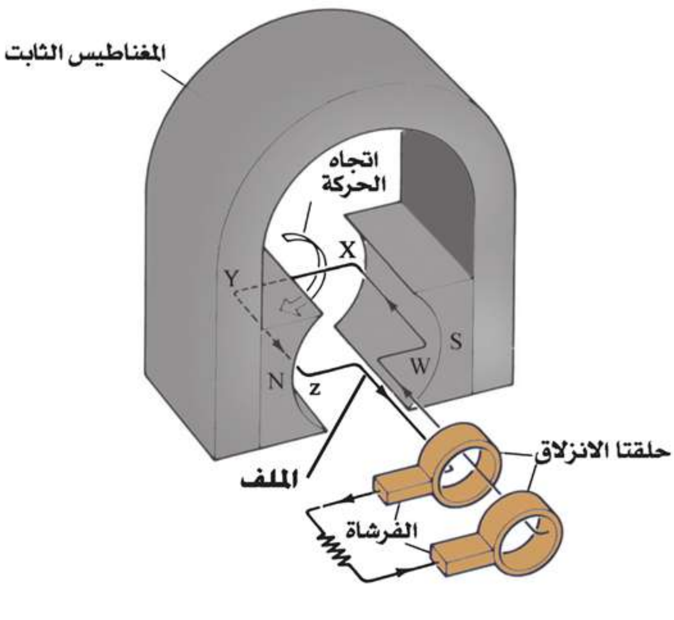
المولد الكهربى أو الدينامو AC Generator - Alternator - Dynamo هو وسيلة أو جهاز لتحويل الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربية، عندما يدور ملفه فى مجال مغناطيسى. ويمكن نقل التيار المستحث بواسطة أسلاك لمسافات طويلة.

ويتركب المولد الكهربى البسيط كما فى الشكل (١١-٨) من أجزاء ثلاثة هى :

(أ) المغناطيس الثابت Field Magnet (ب) الملف Armature (Loop)

(جـ) حلقتا انزلاق Slips

(د) فرشتان Brushes



الشكل (١١-٨)

رسم مبسط للدينامو أى مولد التيار المتردد

يمكن أن يكون المغناطيس الثابت مغناطيساً دائماً أو مغناطيساً كهربياً. والملف إما أن يكون ملفاً من لفة واحدة، أو عدة لفات، بين قطبى المغناطيس وتتصل بنهايتيه حلقتان معدنيتان تدوران مع دوران الملف فى المجال المغناطيسى. التيارات المستحثة فى الملف تمر إلى الدائرة الخارجية خلال فرشتين Brushes من الجرافيت، كل منهما تلامس واحدة من الحلقتين المنزلقتين.

والشكل (١١-٩) يمثل دوران الملف بين قطبى المغناطيس وإتجاه التيار المستحث فى لحظة ما.

نأخذ فى الاعتبار الوجه M من الملف الدوار فى أوضاع مختلفة كما فى شكل (١١-٩).

عندما يدور الملف حول محوره فى دائرة نصف قطرها r تكون السرعة الخطية هى :

$$v = \omega r$$

حيث ω السرعة الزاوية وتساوى $(2\pi f)$

حيث f هو التردد. وبالتعويض عن v فى العلاقة (6–11) نجد أن :

$$e.m f = B \ell \omega r \sin \theta$$

حيث θ هى الزاوية بين اتجاه السرعة التي يتحرك بها السلك واتجاه كثافة الفيض. عندما يكون الملف فى الوضع العمودي علي اتجاه الفيض فإن القوة الدافعة المستحثة تكون صفرا.

ومن ثم تكون القوة الدافعة المستحثة الكلية هى :

$$emf = 2B \ell \omega r \sin \theta$$

لكن مساحة وجه الملف (A) هى :

$$A = (\ell)(2r)$$

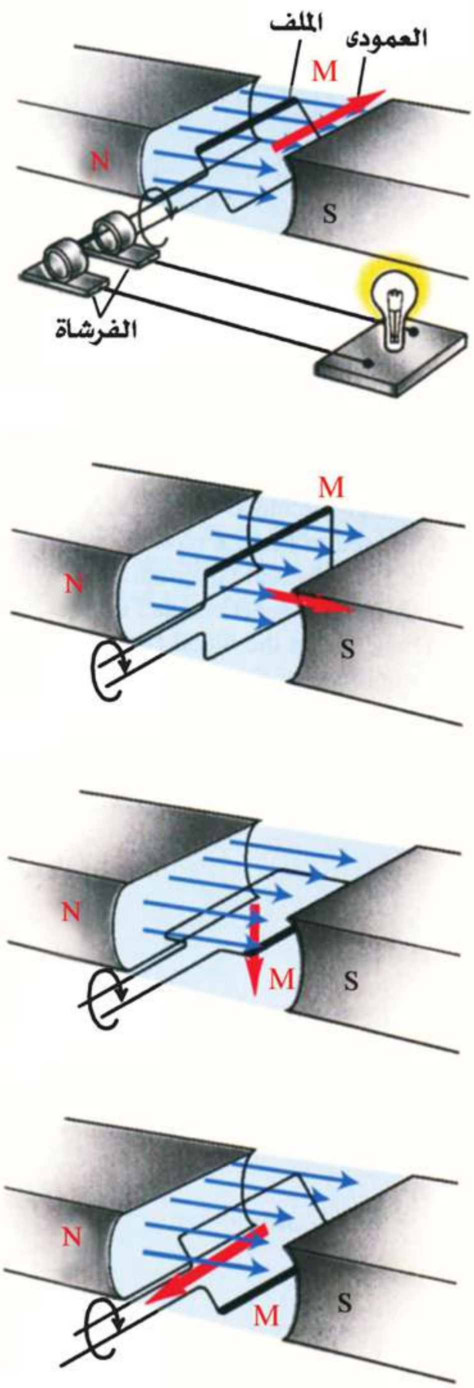
$$emf = BA \omega \sin \theta$$

وعندما يكون عدد لفات الملف N تصبح القوة الدافعة المستحثة اللحظية هى :

$$emf = NBA\omega \sin \theta \qquad (11 - 7)$$

ومن هذه العلاقة نتبين أن القوة الدافعة المستحثة تتغير جيبياً (أى بموجب منحنى الجيب Sine Curve) مع الزمن. وهذه الحقيقة موضحة فى الشكل (١١-١٠). فالقوة الدافعة الكهربية المستحثة تتغير من نهاية عظمى موجبة عند $\theta = 90^\circ$، إلى صفر عند $\theta = zero$

وتكون النهاية العظمى للقوة الدافعة



شكل (١١-٩)

تغير التيار المستحث خلال دورة كاملة للملف

المستحثة هى :

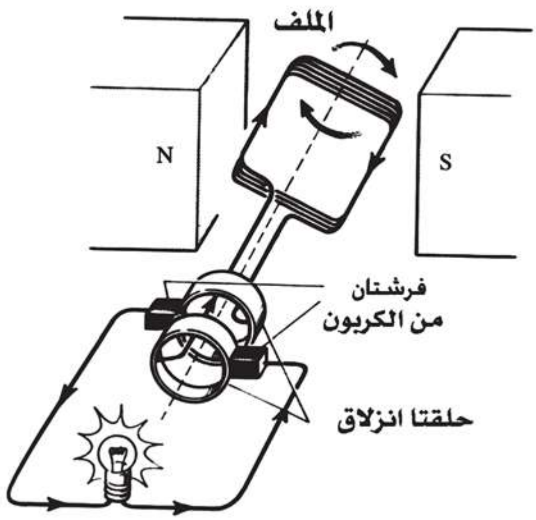
(11-8) $(emf)_{max} = NBA\,\omega = NBA\,(2\pi f)$ نظراً لأن $(\sin 90^\circ = 1)$، ويمكن تعيين القوة الدافعة المستحثة اللحظية بدلالة النهاية العظمى للقوة الدافعة المستحثة بواسطة العلاقة :

$$emf = (emf)_{max} \sin\theta \qquad (11-9)$$

ونظراً لأن $\theta = \omega t = 2\pi ft$

فإن : (11 - 10)

$$emf = (emf)_{max} \sin 2\pi ft$$



شكل (١١-١٠أ)

مولد التيار المتردد

ومن هذا الشكل نتبين أن التيار المتولد يغير اتجاهه كل نصف دورة، وأن تغيره يمثله منحنى جيبى (شكل ١١-١٠)، ومنه أيضا يتضح مفهوم التردد f وخلال ذبذبة كاملة تزداد شدة التيار من الصفر إلى نهاية عظمى، ثم تتناقص إلى الصفر، ثم يعكس التيار الكهربى اتجاهه فى الدائرة ويأخذ في الزيادة حتى يصل إلى نهاية عظمى، ثم يأخذ فى التناقص حتى يصل إلى الصفر مرة أخرى. ويقال عندئذ أن التيار قد أتم ذبذبة كاملة. ويكون الملف قد أتم بدوره دورة كاملة. وعدد الذبذبات فى الثانية f هو التردد. ومن المعروف أن تردد التيار المنزلى يساوى 50 ذبذبة فى الثانية.

مثال :

ملف فى مولد كهربى بسيط للتيار المتردد عدد لفاته 100 لفة مساحة مقطع كل منها $0.21 m^2$ يدور الملف بتردد 50 دورة فى الثانية فى مجال مغناطيسى ثابت كثافة فيضه $0.3 Weber/m^2$ ما النهاية العظمى للقوة الدافعة المستحثة وما قيمتها عندما تكون الزاوية بين إتجاه السرعة وكثافة الفيض 30°؟

الحل :

$$(emf)_{max} = NBA\,\omega = NBA\,(2\pi f)$$

$$= 100 \times 10^{-3} \times 0.21 \times 2 \times \frac{22}{7} \times 50 = 6.6\ V$$

النهاية العظمى للقوة الدافعة المستحثة المتولدة تساوى 6.6V

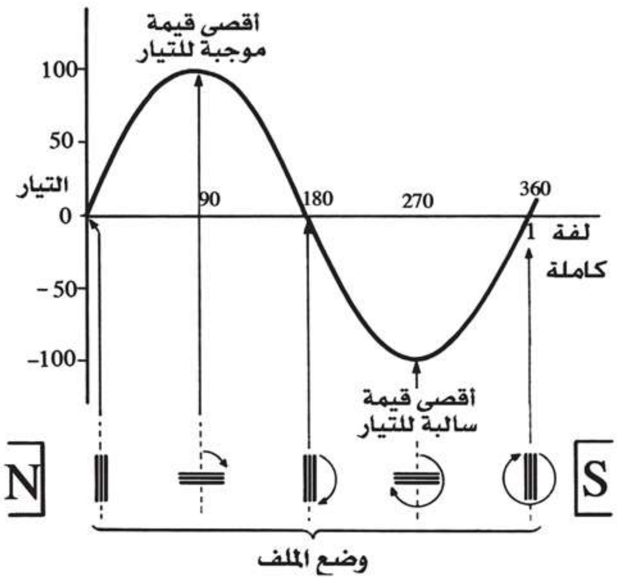
$$emf = (emf)_{max} \sin \theta = 6.6 \times \sin 30 = 6.6 \times \frac{1}{2} = 3.3\ V$$

وينبغى أن نتذكر أن التيار المستحث يتناسب طردياً مع القوة الدافعة المستحثة.

لهذا يكون التيار المستحث اللحظى هو :

$$I = I_{max} \sin (2 \pi f t)$$

ويبلغ التيار المستحث نهايته العظمى عندما تبلغ القوة الدافعة المستحثة نهايتها العظمى وينعدم التيار المستحث عندما تنعدم القوة الدافعة المستحثة.



شكل (١١-١٠ب)

العلاقة البيانية لشدة التيار مع زاوية الدوران (المنحنى الجيبى)

القيمة الفعالة للتيار Effective Current

ومما ينبغى الإشارة إليه أن القيمة المتوسطة لتيار متردد تساوى الصفر. إذ أن مقداره يتغير من (I_{max} إلى $-I_{max}$). ومع ذلك تستنفد الطاقة الكهربية كطاقة حرارية نتيجة لحركة الشحنة الكهربية. ويتناسب معدل الطاقة الكهربية المستنفذة طردياً مع مربع شدة التيار. وأفضل طريقة لقياس الشدة الفعالة للتيار المتردد هى إيجاد قيمة التيار الموحد الإتجاه الذى يولد نفس معدل التأثير الحرارى فى مقاومة معينة، أو الذى يولد نفس القدرة التى يولدها التيار المتردد.

هذه القيمة تسمى القيمة الفعالة للتيار I_{eff} وتساوى 0.707 من النهاية العظمى للتيار، أى أن :

$$I_{eff} = 0.707\, I_{max} \qquad (11 - 11)$$

وثمة علاقة مماثلة للقوة الدافعة الكهربية الفعالة هى :

$$(emf)_{eff} = 0.707\, (emf)_{max} \qquad (11 - 12)$$

مثال :

إذا كانت شدة التيار الفعالة فى دائرة 10A وفرق الجهد الفعال هو 240 V فما هى النهاية العظمى لكل من التيار وفرق الجهد ؟

الحل :

$$I_{eff} = 0.707\, I_{max}$$

$$10 = 0.707\, I_{max}$$

ومنها

$$I_{max} = \frac{10}{0.707} = 14.14\ A$$

$$V_{eff} = 0.707\, V_{max}$$

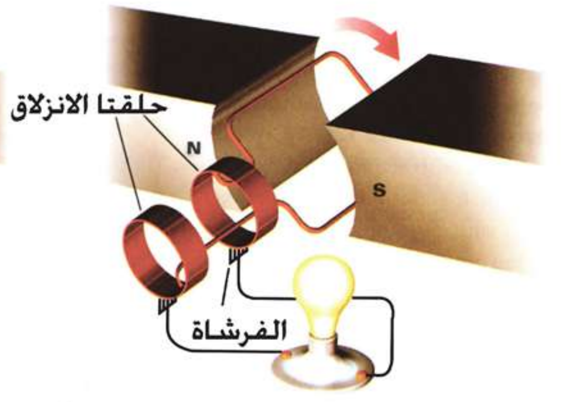
$$240 = 0.707\, I_{max}$$

$$V_{max} = \frac{240}{0.707} = 339.5\ V$$

تقويم التيار الكهربى المتردد فى المولد الكهربى :

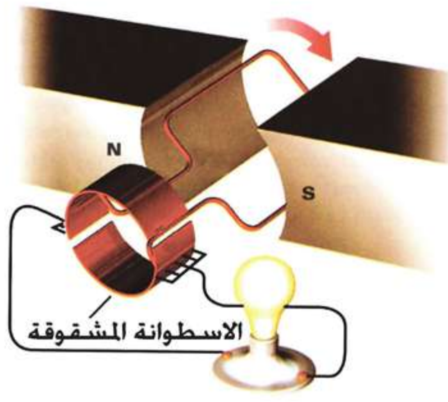
تتطلب كثير من التطبيقات الكهربية استخدام تيار مستمر DC من مصدر تيار مترددAC، مثل تحضير بعض الفلزات بالتحليل الكهربى لمركباتها باستخدام تيار موحد الاتجاه. كما نحتاج إلى تحويل التيار المتردد إلى تيار مستمر فى شاحن التليفون المحمول. ويقتضى هذا تحويل التيار المتردد إلى تيار مستمر (أى تيار فى إتجاه واحد) فيما يعرف بعملية تقويم التيارRectification. كذلك يمكن تحويل المولد المتردد إلى مولد مستمر DC Generator.

ولهذا الغرض يتم استبدال الحلقتين المعدنيتين بما يسمي «مقوم التيار» Commutator ويتركب مقوم التيار من اسطوانة معدنية جوفاء مشقوقة إلى نصفين 1 , 2 معزولين تماماً عن بعضهما كما فى الشكل (١١-١١). ويلامس نصفى الإسطوانة 1 , 2 أثناء دورانهما فرشاتان F_1 ، F_2. ويراعى أن



شكل(١١-١١أ)

أ- مولد التيار المتردد

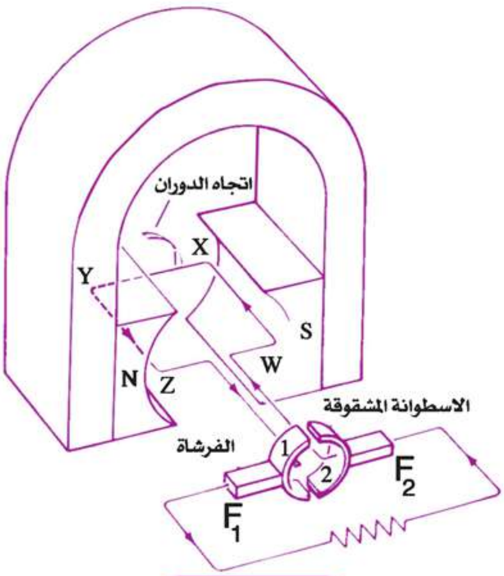


شكل(١١-١١ب)

ب- مولد التيار المستمر

تلامس الفرشاتان الشقين العازلين فى اللحظة التى يكون فيها مستوى الملف عمودياً على خطوط الفيض المغناطيسى، أى فى اللحظة التى تكون فيها القوة الدافعة الكهربية المتولدة فى الملف صفراً.

ولنأخذ فى الإعتبار أن الملف سيبدأ فى الدوران فى الإتجاه المبين بالشكل (١١-١١جـ)، وفى خلال النصف الأول من الدورة ستكون الفرشاة F_1 ملامسة لنصف الاسطوانة 1 والفرشاة F_2 ملامسة لنصف الاسطوانة 2، وأن التيار الكهربى سيمر فى الملف فى الإتجاه (WXYZ)، ويترتب على ذلك أن يمر التيار الكهربى فى الدائرة الخارجية من الفرشاة F_1 إلى الفرشاة F_2 خلال النصف الأول من الدورة.

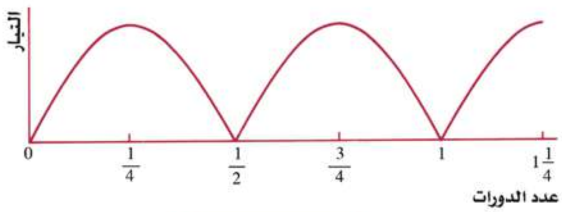


شكل (١١-١١جـ)

ب- استخدام الاسطوانة المشقوقة
يوحد اتجاه التيار

وفى النصف الثانى من الدورة يعكس التيار الكهربى اتجاهه فى الملف بمعنى أن التيار الكهربى يمر فى الملف فى الإتجاه (ZYXW). وفى نفس الوقت تصبح الفرشاة F_1 ملامسة لنصف الإسطوانة 2. ويمر التيار فى الدائرة الخارجية من الفرشاة F_1 إلى الفرشاة F_2، وهو نفس اتجاهه فى النصف الأول من الدورة. ومع استمرار الدوران تظل الفرشاة F_1 موجبة والفرشاة F_2 سالبة. لذلك يكون التيار الكهربى فى الدائرة

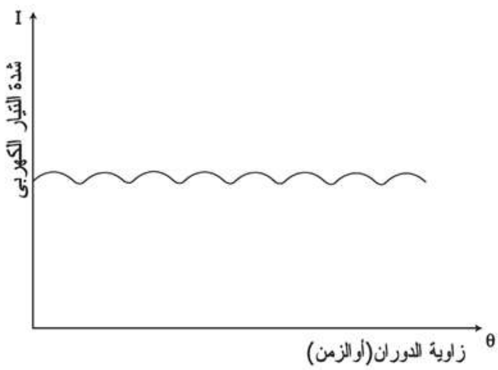
الخارجية موحد الإتجاه دائماً، كما فى الشكل (١١-١١د). ويلاحظ هنا أن القوة الدافعة الكهربية موحدة الاتجاه، لكن مقدارها يتغير من الصفر إلى النهاية العظمى، ثم إلى الصفر كل نصف دورة من دورات الملف.



شكل (١١-١١د)

د- منحنى التيار مع زاوية الدوران (منحنى جيبى موحدالاتجاه)

وللحصول على تيار كهربى موحد الاتجاه ثابت الشدة تقريبا تستخدم عدة ملفات بينها زوايا صغيرة، وتستخدم اسطوانة معدنية مجوفة مشقوقة إلى عدد من الأجزاء يساوى ضعف عدد الملفات، فتكون شدة التيار الكهربى المار فى الدائرة الخارجية ثابتة القيمة تقريبا، وبهذه الكيفية يتم الحصول فعليا على مولد ثابت الشدة DC generator (شكل ١١-١٢).



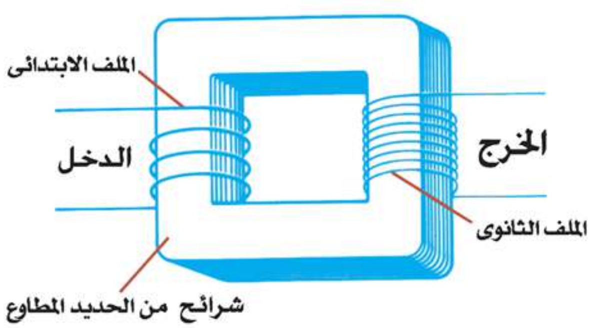
شكل (١١-١٢)

التيار موحد الاتجاه ثابت الشدة تقريباً

المحول الكهربى Transformer :

المحول الكهربى جهاز تعتمد فكرة عمله على الحث المتبادل بين ملفين ويستخدم لرفع الجهد أو خفضه. فالمحولات المستخدمة فى محطات القوى تسمى محولات الجهد العالى وتكون محولات رافعة Up-Converter . والمحولات المستخدمة عند مناطق التوزيع محولات خافضة Down-Converter.

ويتركب المحول الكهربى كما فى الشكل (١١-١٣) من ملفين ابتدائى وثانوى. والملفان ملفوفان حول قلب من الحديد يتكون من شرائح رقيقة معزولة عن بعضها،

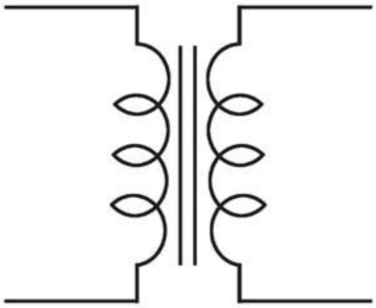


شكل (١١-١٣)

تركيب المحول الرافع

وذلك للحد من التيارات الدوامية. وللحد بالتالى من الطاقة الكهربية المفقودة.

عندما يمر تيار كهربى فى الملف الإبتدائى، فإن مجالاً مغناطيسيا يتولد عنه. أما القلب الحديدى فيعمل على تركيز خطوط فيض هذا المجال لتقطع الملف الثانوى.



شكل (١١-١٣ب)
رمز المحول

العلاقة بين القوتين الدافعتين الكهربيتين فى ملفى المحول المثالى:

عندما يوصل الملف الإبتدائى بمصدر جهد متردد، يولد التغير فى المجال المغناطيسى قوة دافعة كهربية مستحثة فى الملف الثانوى لها نفس التردد. وتعين القوة الدافعة الكهربية المستحثة فى الملف الثانوى من العلاقة.

$$V_s = -N_s \frac{\Delta \phi}{\Delta t}$$

حيث N_S عدد لفات الملف الثانوى و $\frac{\Delta \phi}{\Delta t}$ معدل خطوط الفيض المغناطيسى التى تقطعه. كذلك تتولد قوة دافعة كهربية فى الملف الابتدائى وترتبط أيضا بالمعدل الذى يتغير به الفيض. تتزن هذه القوة الدافعة تقريبا مع القوة الدافعة الكهربية للمصدر الخارجى. وقد يستهلك جزء من الجهد داخل مقاومة السلك. وتعمل هذه القوة الدافعة المستحثة. علي تحديد قيمة التيار بحيث لا يزداد أكثر من اللازم فيحترق الملف الابتدائي. وتتعين بالتالى من العلاقة :

$$V_p = -N_p \frac{\Delta \phi}{\Delta t}$$

حيث N_p عدد لفات الملف الابتدائى.

وبفرض عدم وجود فقد فى الفيض المغناطيسى، بحيث يمر الفيض المغناطيسى الناتج بأكمله فى الملف الثانوى، يمكننا بقسمة العلاقتين السابقتين الحصول على ما يلى:

$$\frac{V_s}{V_p} = \frac{N_s}{N_p} \qquad (11 - 13)$$

وتدلنا هذه العلاقة على كيفية ارتباط القوة الدافعة للملف الثانوى V_s بالقوة الدافعة للملف الابتدائى V_p.

فإذا كان N_s أكبر من N_p، يكون لدينا محول رافع للجهد، حيث تكون القوه الدافعة الكهربية للملف الثانوى أكبر من القوة الدافعة الكهربية للملف الابتدائى. على سبيل المثال إذا كان عدد لفات الملف الثانوى ضعف عدد لفات الملف الابتدائى يكون V_s ضعف V_p.

وإذا كان N_s أقل من N_p يكون لدينا محول خافض للجهد حيث تكون V_s أقل من V_p

العلاقة بين شدتى التيارين فى ملفى المحول :

إذا فرضنا عدم وجود فقد فى الطاقة الكهربية فى المحول، فإن قانون بقاء الطاقة يقتضى أن تكون الطاقة الكهربية المستنفذة فى الملف الابتدائى مساوية للطاقة الكهربية المتولدة فى الملف الثانوى أى أن :

$$V_p I_p t = V_s I_s t$$

ومنها تكون قدرة الدخل Input Power مساوية لقدرة الخرج Ouput Power. أى أن :

$$V_p I_p = V_s I_s$$

$$\therefore \frac{V_s}{V_p} = \frac{I_p}{I_s} \qquad (11 - 14)$$

بالاستعانة بالعلاقتين (11 - 11) و (11 - 12) نجد أن :

$$\frac{I_s}{I_p} = \frac{N_p}{N_s} \qquad (11 - 15)$$

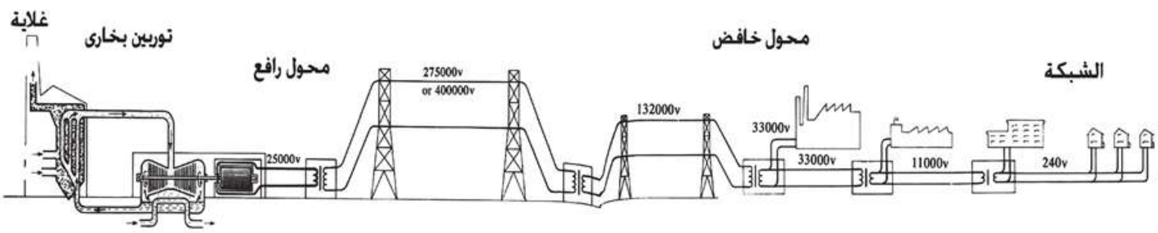
أى أن شدة التيار فى أى من الملفين تتناسب عكسياً مع عدد لفاته. فمثلاً عندما يكون عدد لفات الملف الثانوى ضعف عدد لفات الملف الابتدائى، فإن شدة تيار الملف الثانوى تساوى نصف شدة تيار الملف الابتدائى.

ومن هنا نتبين أهمية استخدام المحول الرافع للجهد عند محطة التوليد الكهربية، حيث

يتم رفع الجهد إلى قيمة عالية، وتقل شدة التيار بالتالى إلى قيمة منخفضة جداً، فيقل معدل الفـقـد فى القـدرة الذى يسـاوى I^2R، حـيـث I شـدة التـيـار الكـهـربى المار فى الأسـلاك والتى مقاومتها R. لذلك إذا أمكننا خفض التيار الكهربى فى أسلاك النقل بواسطة المحول الرافع للجهد إلى $\frac{1}{100}$ مثلاً من شدة تيار الملف الابتدائى له، فإن الطاقة المفقودة تصل إلى $\frac{1}{10000}$ من الطاقة المفقودة إذا ظل التيار الكهربى فى الملف الابتدائى بنفس شدته الأصلية.

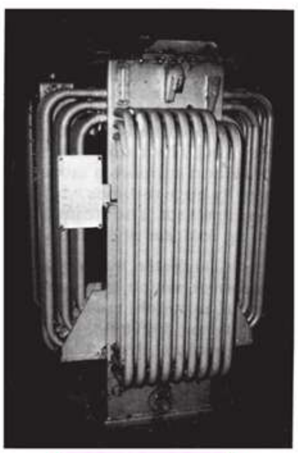
وعند مناطق التوزيع تستخدم محولات خافضة للجهد. حيث يكون فرق الجهد على الملف الثانوى 220 فولت. وهو جهد التشغيل لمصابيح الإضاءة ومعظم الأجهزة الكهربية المستخدمة فى المنازل.

استخدامات المحول الكهربى :



(شكل ١١-١٤)

استخدام المحولات فى نقل الطاقة الكهربية



(شكل ١١-١٥)

محول عملاق فى محطات الخفض والتوليد

تستخدم المحولات الكهربية لنقل الطاقة الكهربية Transmission من محطات توليدها إلى أماكن استخدامها على مسافات بعيدة عبر أسلاك معدنية دون فقد يذكر فى الطاقة الكهربية، حيث تستخدم محولات رافعة للجهد عند محطات التوليد Generation، ومحولات خافضة للجهد عند مناطق التوزيع (شكل ١١-١٤)، حيث تستخدم المحولات العملاقة فى هذه المحطات (شكل ١١-١٥). كما تستخدم المحولات الكهربية فى بعض الأجهزة المنزلية كالأجراس والثلاجات إلى آخره.

كفاءة المحول الكهربى :

إذا لم يكن هناك فقد فى الطاقة الكهربية فى المحول . بمعنى أن الطاقة الكهربية المتولدة فى الملف الثانوى تساوى الطاقة الكهربية المستنفدة فى الملف الابتدائى . تكون كفاءة المحول 100% . ومثل هذا المحول غير موجود فى الحياة العملية، إذ يحدث فقد فى الطاقة للأسباب الآتية :

١ - يتحول جزء من الطاقة الكهربية إلى طاقة حرارية فى الأسلاك. ولإنقاص هذا الفقد يفضل استخدام أسلاك معدنية مقاومتها أقل ما يمكن.

٢ - يتحول جزء من الطاقة الكهربية فى القلب الحديدى إلى طاقة حرارية بسبب التيارات الدوامية. وللحد من هذا الفقد يصنع القلب الحديدى من شرائح معزولة من الحديد المطاوع السليكونى لكبر مقاومته النوعية، وذلك للحد من التيارات الدوامية Eddy Currents.

٣- يتحول جزء من الطاقة الكهربية إلى طاقة ميكانيكية تستنفد فى تحريك جزيئات القلب الحديدى. وللحد من هذا الفقد، يستخدم الحديد المطاوع السليكونى لسهولة حركة جزيئاته المغناطيسية.

وبصفة عامة إذا كانت الطاقة المفقودة تمثل 10% من الطاقة الكهربية الأصلية تكون كفاءة المحول 90%

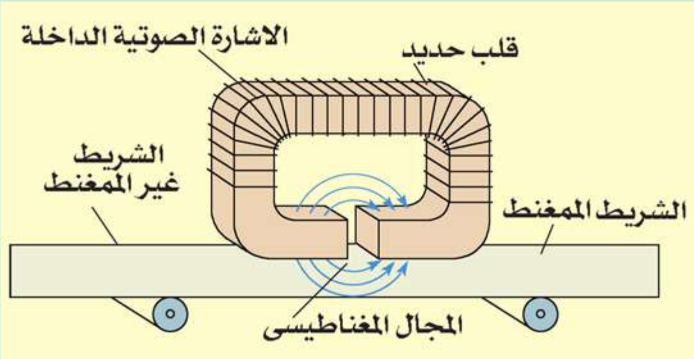
وتعرف كفاءة المحول بنسبة الطاقة الكهربية التى نحصل عليها من الملف الثانوى إلى الطاقة الكهربية المعطاة للملف الابتدائى فى نفس الزمن أى أن :

$$\eta = \frac{V_s I_s}{V_p I_p} \times 100 \qquad (11 - 16)$$

معلومة إثرائية

التسجيل

يستخدم الحث الكهرومغناطيسى فى جهاز التسجيل **Recorder**، حيث تتحول الاشارة الكهربية إلى مجال مغناطيسى يمغنط الشريط المغناطيسى فى رأس التسجيل **Record Head**. وعند التشغيل تقوم رأس القراءة **Play Head** بقراءة ما تم تسجيله وتحويله إلى اشارة كهربية (شكل ١١-١٦). ويحدث نفس الشئ فى القرص الصلب **Hard Disk** فى الكمبيوتر، حيث تخزن المعلومات بالمغنطة. ولذلك لا تزول المعلومات التى فى القرص الصلب إذا فصل مصدر التيار الكهربى عن الكمبيوتر.



(شكل ١١ -١٦)

استخدام الحث الكهرومغناطيسى فى تسجيل الصوت

أمثلة :

١ - محول يعمل على مصدر تيار متردد قوته الدافعة الكهربية 240V يعطى تياراً شدته 4A وقوته الدافعة الكهربية 900V فما هى شدة تيار المصدر بفرض أن كفاءة المحول 100%؟

الحل :

$$\because \frac{V_s}{V_p} = \frac{I_p}{I_s}$$

$$\therefore \frac{900}{240} = \frac{I_p}{4}$$

$$\therefore I_p = \frac{900 \text{ x } 4}{240} = 15 \text{ A}$$

٢ - جرس كهربى مركب على محول كهربى كفاءته 80% يعطى 8V إذا كانت القوة الدافعة الكهربية فى المنزل 220V . فما عدد لفات الملف الثانوى، إذا كانت عدد لفات الملف الإبتدائى 1100 لفة؟ وما هى شدة التيار فى الملف الثانوى، إذا كانت شدة التيار فى الملف الابتدائى 0.1A؟

الحل :

$$\eta = \frac{V_s\ I_s}{V_p\ I_p} \times 100$$

$$\eta = \frac{V_s}{V_p} \times \frac{N_p}{N_s} \times 100$$

$$80 = \frac{8}{220} \times \frac{1100}{N_s} \times 100$$

$N_s = 50$ turns (لفة)

$$\frac{I_s}{I_p} = \frac{N_p}{N_s}$$

$$\frac{I_s}{0.1} = \frac{1100}{50}$$

$I_s = 2.2$ A

معلومة إثرائية

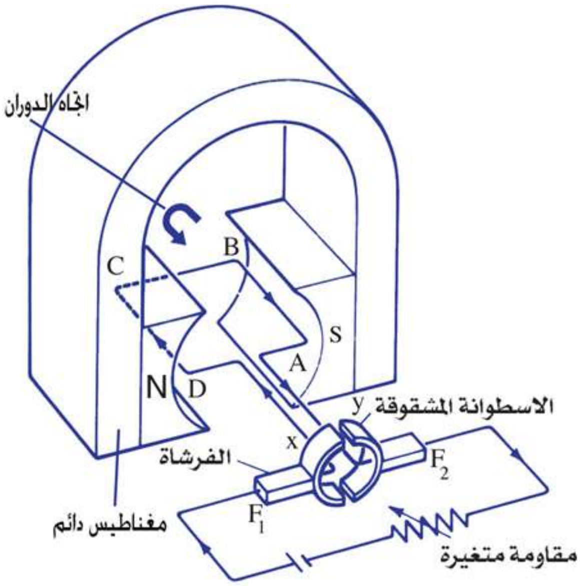
AC/DC

يتضح مما سبق أن هناك نوعان من التيار وبالتالى فرق الجهد (مستمر DC، ومتردد AC). فى حالة التيار المستمر ، فإن قانون أوم يوضح أن الذى يحدد قيمة التيار هو المقاومة، أما فى حالة التيار المتردد فإن الذى يحدد قيمة عناصر ثلاثة هى المقاومة Resistor وملف الحث Inductor والمكثف Capacitor.

ويراعى أن كهرباء المنازل تستخدم جهد متردد قيمته الفعالة 220V وتردده 50Hz، وأحياناً نحتاج إلى تحويل هذا الجهد المتردد إلى قيمة منخفضة لفرق جهد مستمر مثل شاحن التليفون المحمول وبعض الأجهزة الإلكترونية المنزلية، وذلك بإستخدام المحول الكهربى ودائرة كهربية بسيطة للتقويم Rectifier. مع ملاحظة أن التيار المتردد المنخفض هو أخطر على الإنسان من التيار المستمر المنخفض (لماذا؟).

محرك التيار الكهربى المستمر DC Motor

هو جهاز يستخدم لتحويل الطاقة الكهربية إلى طاقة ميكانيكية ويعمل بمصدر كهربى مستمر (مثل البطارية) (شكل ١١-١٧). ويتركب فى أبسط صورة كما فى شكل (١١-١٧) من ملف مستطيل (ABCD) يتكون من عدد كبير من لفات سلك نحاس معزول ملفوفة حول قلب من الحديد المطاوع مكون من أقراص رقيقة معزولة عن بعضها للحد من التيارات الدوامية.



شكل (١١-١٧)

عمل المحرك (الموتور) المستمر

والملف ومعه القلب الحديدى قابلان للدوران بين قطبى مغناطيس قوى على شكل حذاء الفرس. ويتصل طرفا الملف بنصفى اسطوانة معدنية مشقوقة بالطول Commutator وهما النصفان (x,y)، وهما معزولان عن بعضهما، وقابلان للدوران حول نفس محور دوران الملف. يكون المستوى الفاصل بين نصفى الاسطوانة متعامدا مع مستوى الملف والخط الواصل بين الفرشتين موازيا لخطوط المجال المغناطيسى وعند تشغيل المحرك الكهربى توصل الفرشاتان F_1 , F_2 بقطبى بطارية.

المحرك والجلفانومتر

فكرة عمل المحرك الكهربى هى نفسها فكرة عمل الجلفانومتر ذى الملف المتحرك. الاختلاف بينهما أن ملف المحرك الكهربى يجب أن يدور باستمرار فى نفس الاتجاه. فتصميم المحرك الكهربى يقتضى أن يغير نصفا الاسطوانة المعدنية x,y موضعيهما بالنسبة للفرشتين F_1 , F_2 كل نصف دورة. ويترتب على هذا أن التيار الكهربى المار فى ملف المحرك الكهربى يعكس اتجاهه فى الملف كل نصف دورة.

شرح العمل خلال دورة كاملة للملف :

نبدأ بوضع يكون فيه مستوى الملف موازياً لخطوط الفيض المغناطيسى وتكون فيه الفرشاة F_1 المتصلة بالقطب الموجب للبطارية ملامسة لنصف الاسطوانة (x)، والفرشاة F_2 المتصلة بالقطب السالب للبطارية ملامسة لنصف الاسطوانة (y) كما فى الشكل (١١-١٧). فيمر التيار الكهربى فى الملف فى الإتجاه (DCBA). وبتطبيق قاعدة اليد اليسرى لفليمنج تتبين أن القوة المؤثرة على السلك (AB) يكون إتجاهها إلى أعلى، والقوة المؤثرة على السلك (CD) يكون إتجاهها إلى أسفل. وينشأ عن هاتين القوتين ازدواج Couple يعمل على دوران الملف فى الاتجاه المبين بالرسم (شكل ١١-١٧). ومع دوران الملف يقل عزم الازدواج تدريجياً حتى ينعدم عندما يصبح مستوى الملف عمودياً على إتجاه خطوط الفيض. لكن الملف مدفوعاً بقصوره الذاتى Inertia يستمر فى دورانه. حتى يكون النصفان (x,y) قد تبادلا موضعيهما بالنسبة للفرشتين F_1 , F_2 حيث يصبح نصف الاسطوانة (x) ملامساً الفرشاة F_2، ونصف الاسطوانة (y) ملامساً الفرشاة F_1، فينعكس إتجاه التيار فى الملف، ويمر فى الاتجاه (ABCD). وبتطبيق قاعدة اليد اليسرى لفليمنج فى هذا الوضع الجديد، نتبين أن القوة المؤثرة على السلك (AB) تكون إلى أسفل، بينما القوة المؤثرة على السلك (CD) تكون إلى أعلى. ويعمل الازدواج الناشىء من هاتين القوتين على إستمرار دوران الملف فى نفس الإتجاه الدائرى السابق. ويزداد عزم الازدواج تدريجياً حتى يصل إلى نهايته العظمى، عندما يكون مستوى الملف موازياً لخطوط الفيض، ثم يقل عزم الإزدواج حتى ينعدم عندما يكون مستوى الملف عمودياً على خطوط الفيض، وبالقصور الذاتى يستمر الملف فى حركته قليلاً، بما يسمح لنصفى الاسطوانة (x,y) أن يتبادلا موضعيهما بالنسبة للفرشاتين F_1 , F_2، فينعكس التيار الكهربى مرة أخرى فى الملف. ويستمر الملف فى الدوران فى نفس الاتجاه، ويزداد عزم الازدواج تدريجياً حتى يصل إلى نهايته العظمى، عندما يكون مستوى الملف موازياً لخطوط الفيض، ويكون الملف قد أتم دورة كاملة. ويتكرر ما حدث، ويستمر الملف فى الدوران. وللاحتفاظ بعزم دوران ثابت عند النهاية العظمى نستخدم عدة ملفات بين مستوياتها زوايا صغيرة متساوية. ويتصل طرف كل ملف بقطعتين متقابلتين من أسطوانة معدنية مشقوقة إلى عدد من القطع يساوي ضعف عدد الملفات. بحيث يلامس كل قطعتين متقابلتين من الاسطوانة المشقوقة أثناء دورانها الفرشاتان F_1 , F_2 فى وضع أقصى عزم ازدواج.

معلومة إثرائية

البحث عن المعادن

تعتمد فكرة جهاز البحث عن المعادن Metal Detector. على قياس التغير الذى يحدث فى معامل الحث الذاتى L لملف نتيجة وجود معدن بالقرب منه. عندئذ يتغير التيار فى الجهاز مما يدل على وجود المعدن (شكل ١١-١٨)

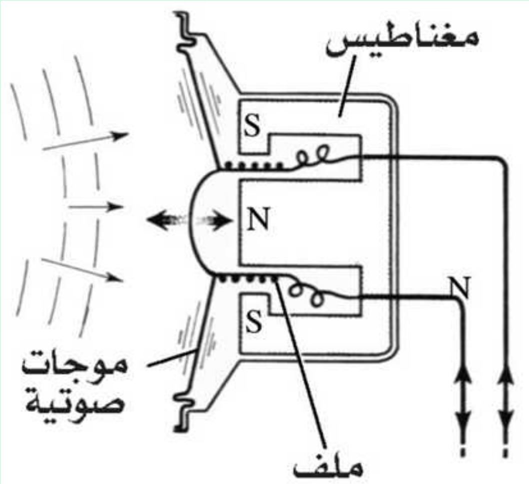


(شكل ١١-١٨)
البحث عن المعادن

معلومة إثرائية

الميكروفون والسماعة

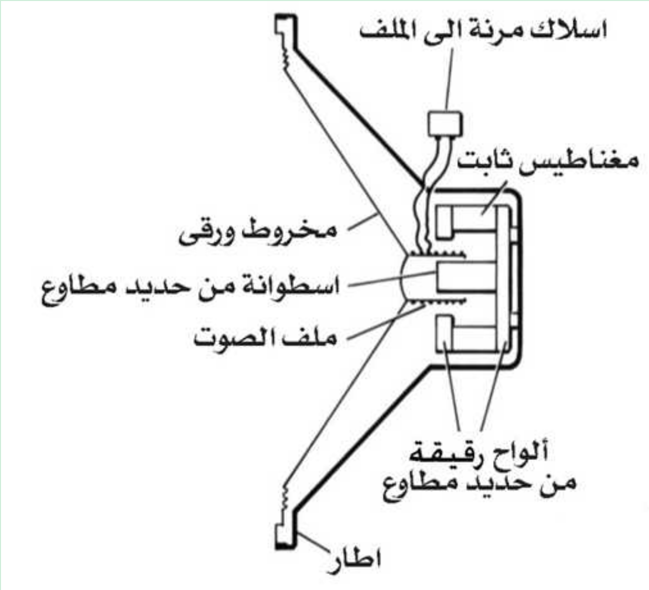
تعتمد فكرة الميكرفون ذى الملف المتحرك Moving Coil Microphone على تذبذب رقيقة معدنية Armature تبعاً لموجات الصوت، وبالتالي يتغير المجال المغناطيسى في قلب حديدي. وينتج عن ذلك تولد قوة دفع كهربية emf فى ملف يحيط بالقلب الحديدى. وتكون هذه القوة الدافعة متغيرة الشدة والتردد بحسب خصائص الصوت. وهكذا تتحول الإشارة الصوتية (الميكانيكية) إلى إشارة كهربية audio (شكل ١١- ١٩).



(شكل ١١-١٩)
تركيب الميكروفون

أما فى السماعة ذات الملف المتحرك Moving Coil Loud Speaker فيحدث

العكس. إذ تحـدث الإشـارة الكهربية المتغيرة تغيرا فى التيار الكهربي في ملف متصل برقيقة معدنية. فتتحرك هذه الرقيقة بفعل القوة الناتجة عن وجود مجال مغناطيسي، فتنشأ موجات ميكانيكية (صوتية) تماثل خصائص الإشارة الكهربية فيسمع الصوت (شكل ١١-٢٠).



(شكل ١١- ٢٠)

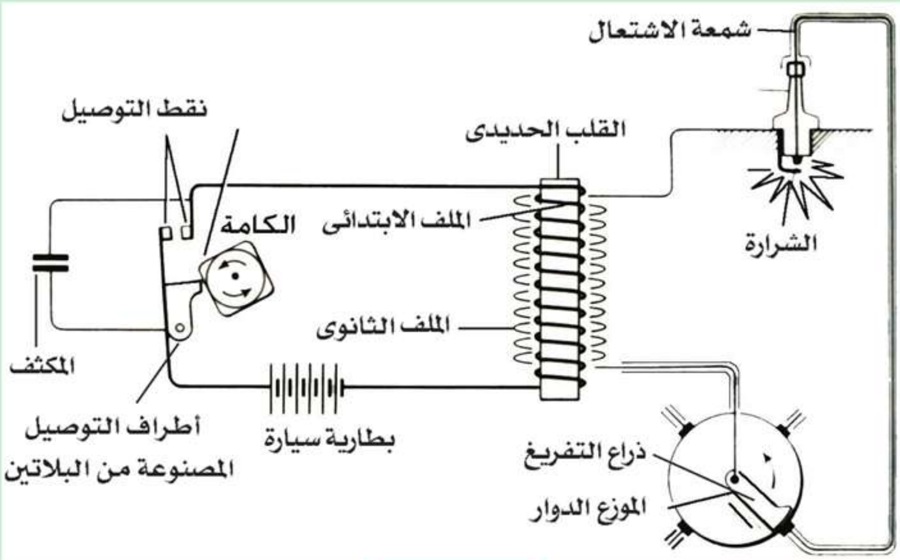
تركيب السماعة

معلومة إثرائية

دائرة الاشتعال فى السيارة

يتركب ملف الاشتعال (شكل ١١-٢١) من ملفين أحدهما داخل الآخر، وهما ملفوفان حول قلب من الحديد المطاوع. يعتبر الملف الابتدائي والقلب الحديدى مغناطيسا كهربيا، حيث يفتح دائرته من وقت لآخر بواسطة كامة الموزع Distributer's Cam عند دورانها فتفتح وتغلق أطراف التوصيل المصنوعة من البلاتين Point Contacts. ويتكون الملف الثانوى من آلاف اللفات من السلك، حيث يتولد فيه بالحث قوة دافعة كهربية عالية من وقت لآخر بنفس معدل فتح دائرة الملف الابتدائى. تعمل القوة الدافعة الكهربية العالية علي توليد شرارة كهربية عبر الفجوة Air Gap فى شمعات الاحتراق Spark Plugs. وتتناوب هذه الشمعات في الاتصال بالملف الثانوى أثناء دوران الموزع.

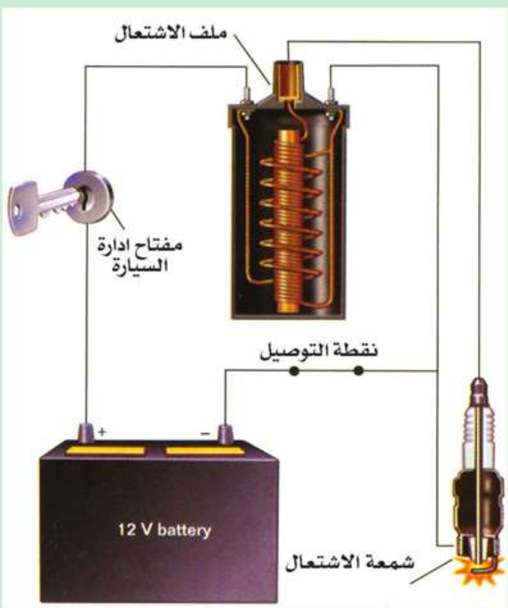
ويستخدم المكثف Capacitor لحماية الطرفين الموصلين من التآكل بفعل الشرارة الكهربية، كما يسهم في كبر الشرارة أثناء فتح الدائرة.



(شكل ١١-٢١أ)

أ- رسم تخطيطى لدائرة الاشتعال فى السيارة

أما في دائرة الاشتعال الإلكترونية، فهى تعمل بنفس الطريقة السابقة مع استخدام الترانزستور كمفتاح بالكامات (الفصل الثامن).



(شكل ١١-٢١ب)

ب- مقطع طولى لمكونات دائرة الاشتعال

تلخيص

التعاريف والمفاهيم الأساسية :

- الحث الكهرومغناطيسى : هى ظاهرة تتولد فيها قوة دافعة كهربية مستحثة، كذلك تيار كهربى مستحث فى الملف اثناء إدخال مغناطيس فيه او اخراجه منه.
- وجود الحديد المطاوع داخل الملف يعمل على تركيز خطوط الفيض المغناطيسى التى تقطع الملف، مما يزيد القوة الدافعة الكهربية المستحثة وكذلك التيار المستحث.
- قانون فاراداى للقوة الدافعة المستحثة :

تتناسب القوة الدافعة المستحثة المتولدة فى ملف بالحث الكهرومغناطيسى تناسبا طرديا مع المعدل الزمنى الذى يقطع به الموصل خطوط الفيض، وكذلك مع عدد لفات الملف.

- قاعدة لنز : يكون اتجاه التيار الكهربى المتولد بالتأثير (المستحث)، بحيث يضادالتغير فى الفيض المغناطيسى المسبب له .
- قاعدة اليد اليمنى لفليمنج : إجعل الإبهام والسبابة والوسطى (ومعه باقى الأصابع) من أصابع اليد اليمنى متعامدة على بعضها، بحيث تشير السبابة إلى اتجاه المجال، والابهام إلى اتجاه الحركة. عندئذ تشير الوسطى وباقى الأصابع إلى اتجاه التيار المستحث.
- الحث المتبادل : هو التأثير الكهرومغناطيسى الحادث بين ملفين متجاورين (أو متداخلين)، احدهما يمر به تيار كهربى متغير الشدة، فيتأثر به الملف الثانوى، ويقاوم التغير الحادث فى الملف الأول الابتدائى .
- الحث الذاتى : هو التأثير الكهرومغناطيسى الحادث فى نفس الموصل أثناء تغير شدة التيار فيه زيادة أو نقصا لمقاومة هذا التغير.
- معامل الحث الذاتى : يقدر عدديا بالقوة الدافعة الكهربية المتولدة بالحث فى الملف عندما يكون المعدل الزمنى لتغير التيار فيه 1 A/s
- وحدة قياس معامل الحث الذاتى : الهنرى هو الحث الذاتى للملف الذى تتولد عنه قوة دافعة كهربية حثية تساوى 1V عندما يكون المعدل الزمنى لتغير التيار فى الملف 1A/s

- واحد هنرى = $\frac{\text{فولت . ثانية}}{\text{أمبير}}$ = $1H = \frac{1V_s}{A}$
- يتوقف معامل الحث الذاتى لملف على :

(أ) شكله الهندسى (ب) عدد لفاته

(جـ) المسافة بين اللفات (د) سماحية القلب المغناطيسى

- مولد التيار الكهربى (الدينامو) : جهاز لتحويل الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربية عندما يدور ملف فى مجال مغناطيسى. وهو يعطى تيارا مترددا.
- يتركب المولد الكهربى البسيط من :

(أ) المغناطيس الثابت (مغناطيس قوى)

(ب) ملف من سلك معلق بين قطبى المغناطيس.

(جـ) حلقتى انزلاق ملامستين لفرشتى التيار المتردد، أو اسطوانة معدنية جوفاء مشقوقة الى عدد من الأجزاء المعزولة عن بعضها للحصول على تيار مستمر تقريباً.

- التيار المتردد : تيار تغير شدته واتجاهه بصورة دورية مع الزمن (منحنى الجيب).
- المحول الكهربى : جهاز لرفع أو خفض القوة الدافعة الكهربية المترددة عن طريق الحث المتبادل بين ملفين.
- كفاءة المحول : هى النسبة بين الطاقة الكهربية التى نحصل عليها من الملف الثانوى إلى الطاقة الكهربية المعطاه للملف الابتدائى.
- المحرك الكهربى (الموتور) : جهاز لتحويل الطاقة الكهربية الى طاقة ميكانيكية

القوانين الهامة :

- القوة الدافعة المستحثة المتولدة فى ملف عدد لفاته N نتيجة تغير فى خطوط الفيض المغناطيسى $\Delta\Phi$ المقطوعة فى زمن Δt يعطى بالعلاقة :

$$emf = -N \frac{\Delta \phi}{\Delta t} \text{ Volt}$$

الإشارة السالبة تدل على أن اتجاه القوة الدافعة المستحثة - وبالتالى التيار المستحث - عكس التغير المسبب له.

- القوة الدافعة المستحثة المتولدة فى ملف ثانوى نتيجة تغير فى خطوط الفيض المغناطيسى الناشئة عن الملف الابتدائى $\Delta\Phi$ والتى تقطع الملف الثانوى فى زمن Δt تعطى من العلاقة :

$$emf = -M \frac{\Delta \phi}{\Delta t}$$

حيث M معامل الحث المتبادل .

- القوة الدافعة المتولدة بالحث الذاتى نتيجة التغير فى شدة التيار المار فى الملف بمقدار ΔI فى زمن Δt تعطى من العلاقة :

$$emf = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

حيث L معامل الحث الذاتى للملف

- القوة الدافعة المستحثة فى سلك مستقيم طوله ع يتحرك بسرعة ثابتة v يصنع اتجاهها زاوية θ مع اتجاه مجال مغناطيسى كثافة فيضه B يعطى من العلاقة.

$$emf = B ع v \sin \theta$$

- القوة الدافعة المستحثة اللحظية المتولدة فى ملف الدينامو تعطى من العلاقة :

$$emf = NBA\,\omega \sin \theta$$

حيث N عدد لفات الملف ، B كثافة الفيض المغناطيسى ، A مساحة وجه الملف ، θ هى الزاوية بين اتجاه السرعة v واتجاه كثافة الفيض المغناطيسى B.

$$\text{السرعة الزاوية} = \frac{\text{عدد الدورات}}{\text{الزمن بالثانية}} \times 2\pi$$

وتكون نهاية عظمى عند $\theta = 90^\circ$ ، صفر عند $\theta = 0^\circ$

- العلاقة بين القيمة الفعالة للتيار I_{eff}، النهاية العظمي له I_{max} هى:-

$$I_{eff} = 0.707\, I_{max}$$

- قوانين المحول الكهربى

(أ) العلاقة بين القوتين الدافعتين الكهربيتين لملفى المحول.

$$\frac{V_S}{V_P} = \frac{N_S}{N_P}$$

(ب) العلاقة بين شدة التيار فى ملفى المحول :

$$I_s / I_p = N_p / N_s$$

(جـ) كفاءة المحول .

$$\frac{V_S\, I_S}{V_P I_P} \times 100$$

p تعنى الابتدائى ، s تعنى الثانوى

أسئلة وتمارين

أولا: ضع علامة (✓) أمام الاجابة الصحيحة :

١- تنحرف ابرة الجلفانومتر المتصل طرفاه بملف لولبى عند اخراج المغناطيس من الملف بسرعة وذلك لأن :

(أ) عدد لفات الملف كبيرة (ب) يقطع الملف خطوط الفيض المغناطيسى

(جـ) عدد لفات الملف قليلة (د) عدد لفات الملف مناسبة

٢- تنحرف ابرة الجلفانومتر المتصل طرفاه بملف لولبى عند اخراج المغناطيس من الملف فى اتجاه عكس اتجاه انحرافها عند ادخال المغناطيس فى الملف وذلك.

(أ) لتولد تيار مستحث اتجاهه عكس اتجاه التيار عند ادخال المغناطيس

(ب) لتولد تيار كهربى (جـ) لنقص عدد خطوط الفيض المغناطيسى

(د) لتغير عدد خطوط الفيض (هـ) لعدم تغير عدد خطوط الفيض

٣- تختلف القوة الدافعة الكهربية المستحثة المتولدة فى الملف عند ادخال أو اخراج مغناطيس منه نتيجة لاختلاف :

(أ) (شدة التيار - طول سلك الملف - عدد خطوط الفيض)

(ب) (قوة المغناطيس - سرعة حركة المغناطيس - عدد لفات الملف)

(جـ) (مساحة مقطع الملف - كتلة وحدة الاطوال من الملف - نوع مادة السلك المصنوع منه الملف).

(د) (طول الملف - عدد اللفات - نوع المغناطيس)

(هـ) (كثافة الفيض - الزمن - شدة التيار)

٤- عند مرور تيار كهربى فى الملف الابتدائى ثم دخول ملف ثانوى فيه طرفاه متصلان بجلفانومتر يكون انحراف مؤشر الجلفانومتر فى اتجاه :

(أ) عكس التيار فى الملف الابتدائى (ب) يشير إلى صفر التدرج

(جـ) متزايد (د) نفس اتجاه التيار فى الملف الابتدائى

(هـ) متغير

٥- عند قطع التيار المار بالملف الابتدائى، وهو بداخل الملف الثانوى يتولد :

(أ) تيار مستحث طردى (ب) مجال كهربى

(جـ) تيار مستحث عكسى (د) تيار متردد

(هـ) مجال مغناطيسى

٦- يرجع بطء التيار فى الملف اللولبى أثناء مروره فيه إلى :

(أ) تولد تيار تأثيرى طردى (ب) تولد مجال مغناطيسى

(جـ) تولد ق.د.ك عكسية تقاوم فرق الجهد الأصلى

(د) تولد فيض مغناطيسى (هـ) تولد مجال كهربى

٧- تصنع المقاومات من أسلاك ملفوفة لفاً مزدوجة :

(أ) لتقل مقاومة السلك (ب) لتزيد مقاومة السلك

(جـ) لتلافى الحث الذاتى (د) لتنعدم مقاومة السلك

(هـ) لتسهيل عملية التوصيل

٨- يمكن تحديد اتجاه التيار الكهربى المتولد فى ملف الدينامو باستخدام :

(أ) قاعدة فليمنج لليد اليسرى (ب) قاعدة لنز

(جـ) قاعدة فليمنج لليد اليمنى

٩- يكون معدل قطع الملف لخطوط الفيض المغناطيسى فى الدينامو اكبر ما يمكن عندما يكون:

(أ) مستوى الملف عموديا على خطوط الفيض.

(ب) مستوى الملف مائلا بزاوية = 30° (جـ) مساحة الملف اقل ما يمكن

(د) مساحة الملف اكبر ما يمكن (هـ) مستوى الملف مواز لخطوط الفيض

١٠- تتناسب شدة التيار المار فى ملفى المحول الكهربى مع عدد لفات الملف تناسبا :

(أ) طرديا (ب) عكسيا

(جـ) يتوقف على نوع مادة السلك (د) يتوقف على درجة حرارة السلك

(هـ) يتوقف على درجة حرارة الجو.

١١- تزداد قدرة الموتور على الدوران باستخدام :

(أ) عدد أكبر من اللفات (ب) عدة ملفات بين مستوياتها زوايا متساوية

(جـ) عدة مغناطيسات (د) سلك نحاس معزول

(هـ) مقوم التيار

١٢- تسمى النسبة بين الطاقة الكهربية فى الملف الثانوى إلى الطاقة الكهربية من الملف الابتدائى :-

(أ) الطاقة المفقودة (ب) الطاقة المعطاة

(جـ) كفاءة المحول (د) قوة تشغيل المحول

(هـ) الطاقة المكتسبة

ثانيا: عرف كلا مما يأتى :

١ - الحث الكهرومغنطيسى .
٢ - قانون فاراداى للقوة الدافعة المستحثة .
٣ - قاعدة لنز .
٤ - قاعدة فليمنج لليد اليمنى .
٥ - الحث المتبادل .
٦ - وحدة قياس الحث المتبادل .
٧ - الحث الذاتى .
٨ - معامل الحث الذاتى .
٩ - الهنرى .
١٠ - ملف الحث .
١١ - التيار المتردد .
١٢ - الدينامو .
١٣ - الموتور .
١٤ - المحول الكهربى .
١٥ - كفاءة المحول الكهربى
١٦ - القوة الدافعة العكسية فى الموتور .

ثالثا : أسئلة المقال :

١- ما هى العوامل التى تتوقف عليها القوة الدافعة الكهربية المستحثة المتولدة فى موصل؟ أذكر العلاقة بين هذه العوامل والقوة الدافعة المستحثة.

٢- اذكر قانون فاراداى للقوة الدافعة الكهربية المستحثة فى ملف وكيف يمكن تحقيقه عمليا.

٣- ما المقصود بالحث المتبادل بين ملفين؟ وما المقصود بمعامل الحث المتبادل؟ كيف يمكن بإستخدام الحث المتبادل إثبات قاعدة لنز.

٤- إذا أمر تيار كهربى فى ملف - استنتج المعادلة التى تربط بين القوة الدافعة الكهربية المستحثة فى هذا الملف ومعدل تغير التيار المار فيه. ومنها إستنتج تعريفا لكل من معامل الحث الذاتى والهنرى.

٥ - متى تكون القوة الدافعة المستحثة المتولدة فى ملف أكبر ما يمكن ومتى تكون صفرا.

٦- إشرح تجربة لتوضيح تحويل الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربية وتجربة أخرى توضح حدوث العكس. ثم أذكر القاعدة المستخدمة لتحديد اتجاه التيار فى الحالة الأولى وإتجاه الحركة فى الحالة الثانية.

٧- استنتج علاقة يمكن بواسطتها تعيين القوة الدافعة الكهربية المستحثة فى لحظة ما فى مولد التيار المتردد.

٨- ما هى التعديلات التى إدخلت على دينامو التيار المتردد للحصول على تيار مقوم.

٩- صف تركيب المحول الكهربى واشرح نظرية عمله. ما معنى أن كفاءة المحول الكهربى 80% ؟

١٠- ماذا يقصد بكفاءة المحول الكهربى؟ وما هى العوامل التى تنقص منها وكيفية التغلب عليها؟ وهل تصل كفاءة المحول إلى 100% أم لا ولماذا؟

١١- صف مع الرسم تركيب الموتور موضحا فكرة عمله.

رابعا: علل لما يأتى

(أ) يصنع قلب المحول الكهربى من شرائح رقيقة معزولة عن بعضها البعض.

(ب) لا يمغنط ساق من الحديد المطاوع إذا لف حوله سلك معدنى معزول ملفوف لفا مزدوجا يمر به تيار كهربى مستمر.

(ج) يتحرك سلك يمر به تيار كهربى عندما يكون حر الحركة فى مجال مغناطيسى.

(د) لا يصلح المحول الكهربى فى رفع أو خفض قوة دافعة كهربية مستمرة.

(هـ) سرعة دوران ملف الموتور منتظمة.

(و) انعدام التيار المستحث فى السلك المستقيم أسرع منه فى ملف قلبه هوائى. وانعدام التيار فى الملف ذو القلب الهوائى أسرع منه فى ملف ملفوف حول قلب من الحديد.

(ز) يتصل طرفا ملف الدينامو لتوليد تيار موحد الاتجاه بأسطوانة معدنية مجوفة مشقوقة إلى نصفين معزولين تماماً عن بعضهما.

خامسا : تمارين :

١- ملف عدد لفاته 80 لفة مساحة مقطعة $0.2\ m^2$ معلق عموديا على مجال منتظم. متوسط القوة الدافعة المستحثة 2V عندما يدور الملف 1/4 دورة خلال 0.5s احسب كثافة الفيض المغنطيسى. (0.0625 Tesla)

٢- إذا كانت كثافة الفيض المغنطيسى بين قطبى مغناطيسى مولد كهربى هى 0.7Tesla وكان طول ملف الجهاز 0.4m لكى تتولد قوة دافعة كهربية مستحثة فى هذا السلك تساوى واحد فولت احسب سرعة حركته. (3.57 m/sc)

٣- ملف دينامو يتكون من 800 لفة مساحة مقطعة $0.25m^2$ يدور بمعدل 600 دورة كل دقيقة فى مجال كثافة فيضه 0.3Tesla احسب القوة الدافعة المستحثة عندما يصنع العمودى على الملف زاوية 30° مع الفيض المغنطيسى. (6.28V)

٤- ساق من النحاس طولها 30cm تتحرك عموديا على مجال مغنطيسى كثافة فيضه 0.8 Tesla بسرعة 0.5m/s احسب القوة الدافعة الكهربية المستحثة فى هذه الساق.
(0.12V)

٥- هوائي سيارة طوله متر. تتحرك السيارة بسرعة 80km/hr فى اتجاه متعامد على المركبة الأفقية للمجال المغناطيسى للأرض. فتولدت قوة دافعة كهربية 4×10^{-4}V فى الهوائى احسب المركبة الأفقية للمجال المغناطيسى للأرض. (18×10^{-6} Tesla)

٦- احسب معامل الحث الذاتى لملف تتولد فيه قوة دافعة كهربية مستحثة مقدارها 10 V إذا تغيرت شدة التيار المار فيه بمعدل 40A/S (0.25 H)

٧- الحث المتبادل بين ملفين متقابلين هو 0.1H، وكانت شدة التيار المار فى أحد الملفين 4A فإذا هبطت شدة التيار فى ذلك الملف إلى الصفر فى 0.01 s . احسب القوة الدافعة الكهربية المستحثة المتولدة فى الملف الثانى. (40V)

٨- ملف مستطيل أبعاده 0.4m x 0.2m وعدد لفاته 100 لفة يدور بسرعة زاوية ثابتة 500 دورة فى الدقيقة فى مجال منتظم كثافة فيضه 0.1T ومحور الدوران فى مستوى الملف عمودى على المجال. احسب القوة الدافعة الكهربية العظمى المستحثة المتولدة فى الملف.
(41.89 V)

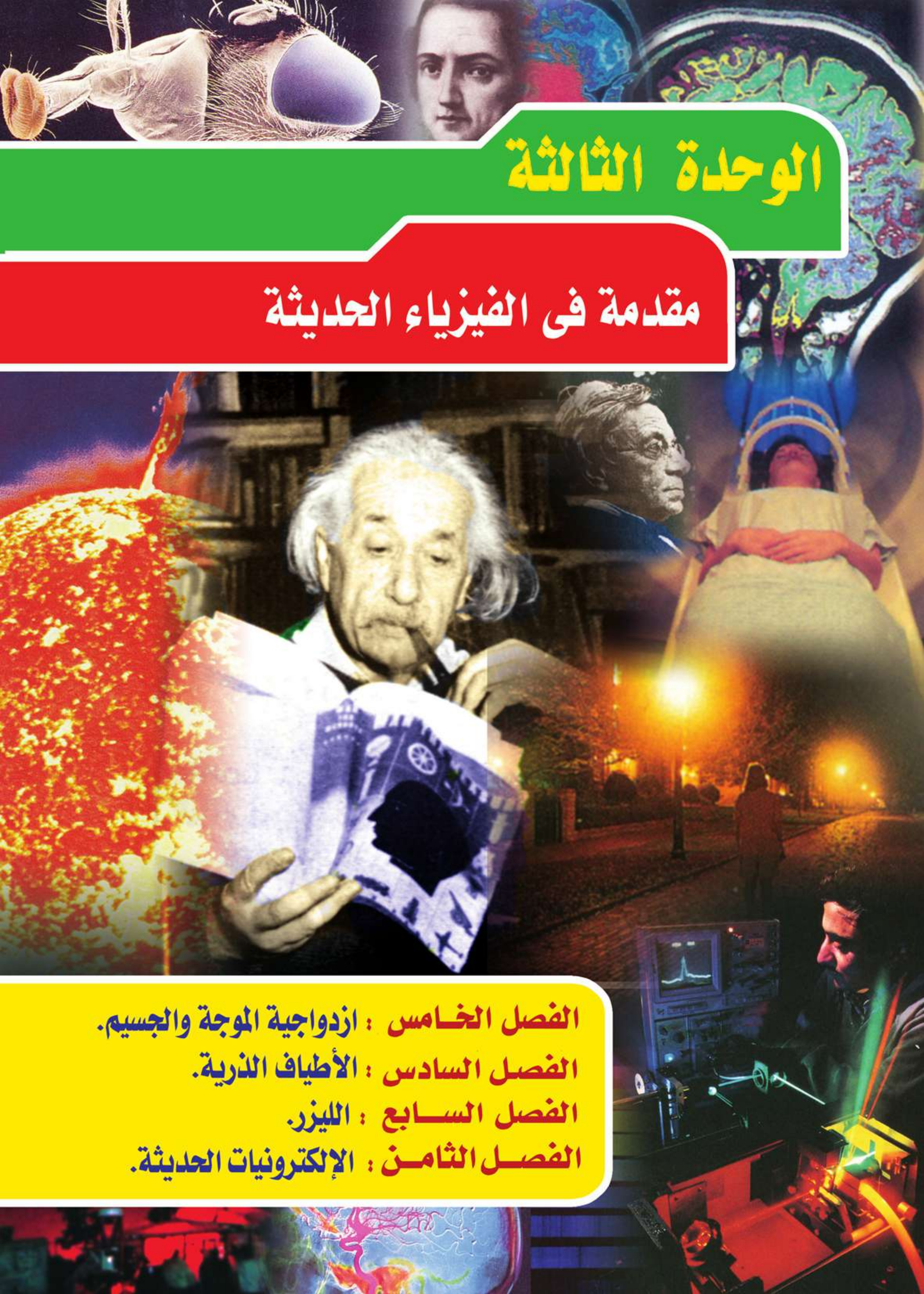
٩- محول خافض كفاءته 90% وجهد ملفه الابتدائى 200V وجهد ملفه الثانوى 9V فإذا كانت شدة التيار فى الملف الابتدائى 0.5A وعدد لفات الملف الثانوى 90 لفة، فما هى شدة التيار فى الملف الثانوى وعدد لفات الملف الابتدائى ؟ (10 A, 1800 لفة)

١٠- محول خافض يعمل على مصدر قوته الدافعة الكهربية 2500 V يعطى ملفه الثانوى تيار شدته 80A، والنسبة بين عدد لفات الملف الإبتدائى وعدد لفات الملف الثانوى 20، وبفرض أن كفاءة هذا المحول 80%، أحسب القوة الدافعة الكهربية بين طرفى الملف الثانوى وشدة التيار المار فى الملف الابتدائى .

(100 V, 4A)

الوحدة الثالثة

مقدمة فى الفيزياء الحديثة



الفصل الخامس : ازدواجية الموجة والجسيم.

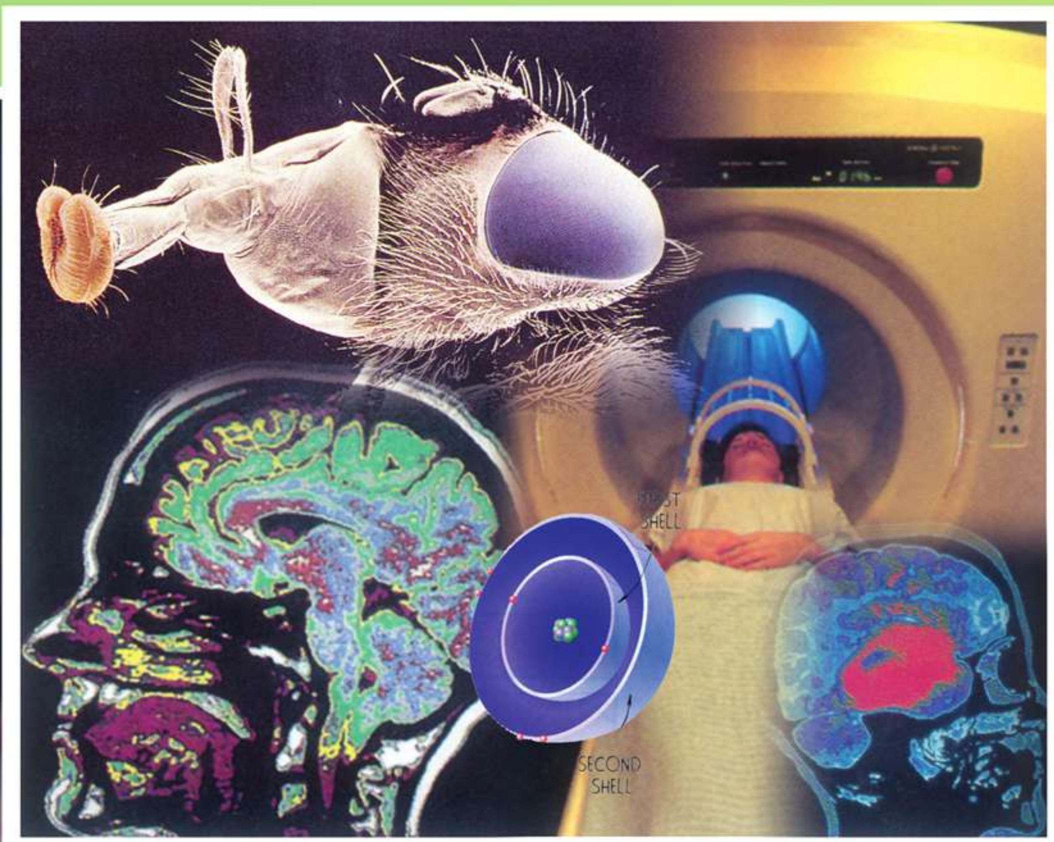
الفصل السادس : الأطياف الذرية.

الفصل السابع : الليزر.

الفصل الثامن : الإلكترونيات الحديثة.

مقدمة فى الفيزياء الحديثة

الوحدة الثالثة



الفصل الخامس : ازدواجية الموجة والجسيم

الوحدة الثالثة
مقدمة فى الفـيزياء الحديثـة

الفصل الخامس
ازدواجـية المـوجـة والجســيم

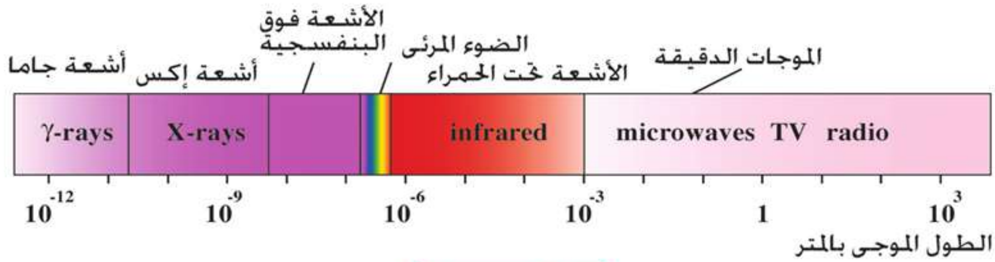
مقدمة :

يندرج كل ما درسناه حتى الآن تحت ما يسمى "الفيزياء الكلاسيكية"، ليس معنى هذا أنها فيزياء غير مستعملة، بل إنها تفسر مشاهداتنا اليومية وتجاربنا المعتادة. أما الوحدة الحالية فهى تتضمن بعض المفاهيم الأساسية للفيزياء الحديثة التى تعتبر مدخلا مهما لفيزياء الكم Quantum Physics. ويتعامل هذا الفرع من الفيزياء مع مجموعة كبيرة من الظواهر العلمية التى قد لا نراها فى حياتنا اليومية بصورة مباشرة، ولكنها تتناول العديد من آثار هذا الكون والتى لا تستطيع الفيزياء الكلاسيكية تفسيرها وخاصة عندما نتعامل على المستوى الذرى أو دون الذرى Subatomic Scale.

كما يفسر هذا الفرع من الفيزياء كل الظواهر الإلكترونية، والتى هى أساس نظم الإلكترونيات والاتصالات الحديثة. كما يفسر التفاعلات الكيميائية على مستوى الجزىء والتى تمكن العالم أحمد زويل من تصوير بعضها باستخدام كاميرا الليزر فائقة السرعة بما أهله للفوز بجائزة نوبل الكيمياء عام ١٩٩٩ .

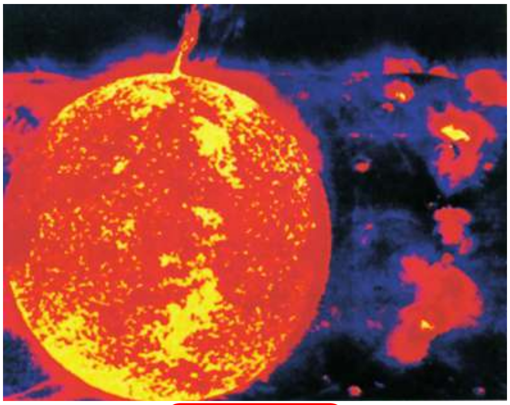
إشعاع الجسم الأسود Black Body Radiation:

استقر فهمنا حتى الآن عن الضوء على أنه موجات. ومن خصائص الموجات أنها تنعكس وتنكسر وتعانى التداخل والحيود. وفهمنا أيضا أن الضوء المرئى هو جزء محدود



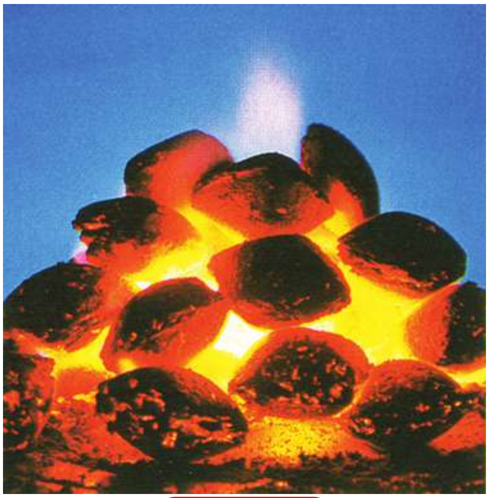
(شكل ١٢-١)

الطيف الكهرومغناطيسى



(شكل١٢-٢)

الشمس مصدر للإشعاع الكهرومغناطيسى



(١٢-٣)

قطعة فحم متقدة تشع اشعاعا كهرومغناطيسياً



(شكل١٢-٤أ)

المصباح متوهج



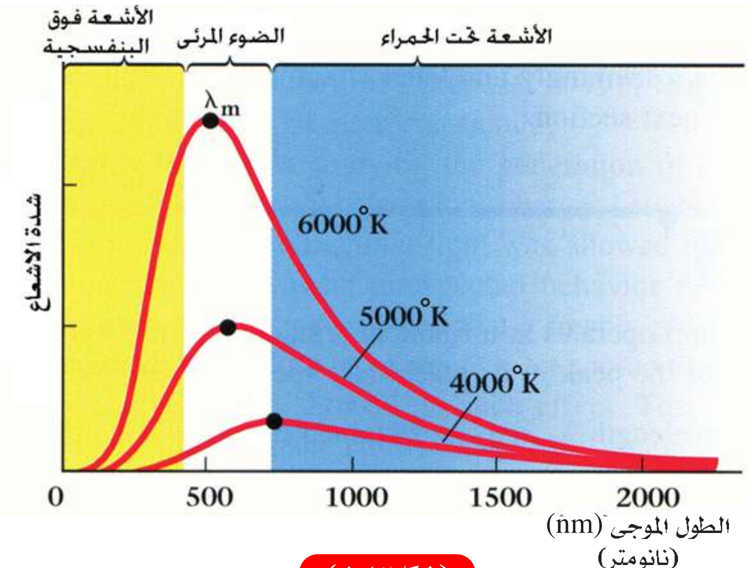
(شكل١٢-٤ب)

المصباح أقل توهجا

المصباح الكهربى يشع اشعاعا كهرومغناطيسيا

من الطيف الكهرومغناطيسى (شكل ١٢-١) . تختلف هذه الموجات الكهرومغناطيسية فى ترددها وطولها الموجى، ولكنها تنتشر بسرعة ثابتة فى الفراغ هى $c = 3 \times 10^8$ m/s ، ولا تحتاج الموجات إلى وسط لانتشارها. ونلاحظ جميعاً أن الأجسام الساخنة تشع ضوءاً وحرارة. ومن أمثلة هذه الأجسام الشمس (شكل ١٢-٢)، وسائر النجوم، وكذلك قطعة الفحم المتقدة (شكل ١٢-٣)، والمصباح الكهربى (شكل ١٢-٤). ونلاحظ أيضا أن اللون الغالب على الضوء الصادر من كل هذه المصادر وغيرها متغير. أى أن المصدر المشع لا يشع كل

الأطوال الموجية بنفس القدر بل تختلف شدة الإشعاع مع الطول الموجى. ويسمى منحنى شدة الإشعاع مع الطول الموجى بمنحنى بلانك Planck's Distribution (شكل ١٢-٥). ووجد أيضاً أن الطول الموجى الذى تصاحبه أقصى شدة إشعاع λ_m يتناسب عكسيا مع درجة الحرارة. يعرف هذا بقانون ڤين Wien's Law. أى أنه كلما زادت درجة الحرارة كان الطول الموجى الذى عنده قمة عظمى أقصر. ويلاحظ أنه إذا زاد الطول الموجى جدا أو قصر جدا فإن شدة الإشعاع تقترب من الصفر. وهكذا فإن درجة حرارة الشمس مثلاً هى 6000°K عند السطح. وهذا يجعل شدة الإشعاع العظمى تقع عند 5000A° (0.5 micron)، أى فى نطاق الطيف المرئى. ولذلك فإن حوالى 40% من الطاقة الإشعاعية للشمس تتكون من ضوء مرئى و 50% تقريبا إشعاع حرارى Infrared Radiation، أما باقى الإشعاع فيقع فى باقى مناطق الطيف. ويمكن الحصول على نفس هذا الشكل من الإشعاع الذى نحصل عليه فى المصباح الكهربى المتوهج، (درجة الحرارة 3000°K)، ولا نحصل إلا على حوالى 20% ضوء، والباقى فى صورة حرارة، إذ يكون الطول الموجى عند قمة المنحنى حوالى 1000 nm = 10^{-6}m= 10000 A° = 1micron (شكل ١٢-٥).



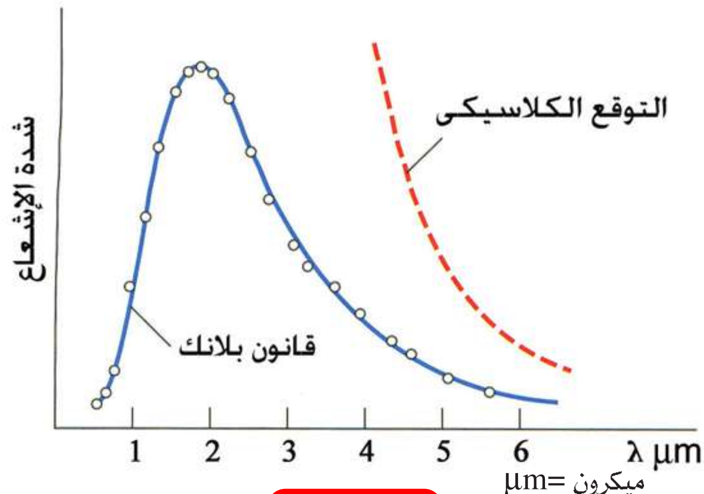
(شكل١٢-٥)

يتناسب الطول الموجى لقمة المنحنى عكسيا مع درجة الحرارة

لا يمكن تفسير هذه المشاهدات باستخدام الفيزياء الكلاسيكية. فمن المعروف من الفيزياء الكلاسيكية أنه بما أن الإشعاع موجات كهرومغناطيسية فإن شدة الإشعاع تزداد كلما زاد التردد، فلماذا إذا تقل شدة الإشعاع عند الترددات العالية (شكل ١٢-٦)؟ استطاع العالم بلانك Planck فى عام ١٩٠٠ أن يضع تفسيراً لهذه الظاهرة. ووجد أن هذا المنحنى يتكرر مع كل الأجسام الساخنة التى تشع طيفا متصلا من الإشعاع وليس فقط الشمس، بل الأرض

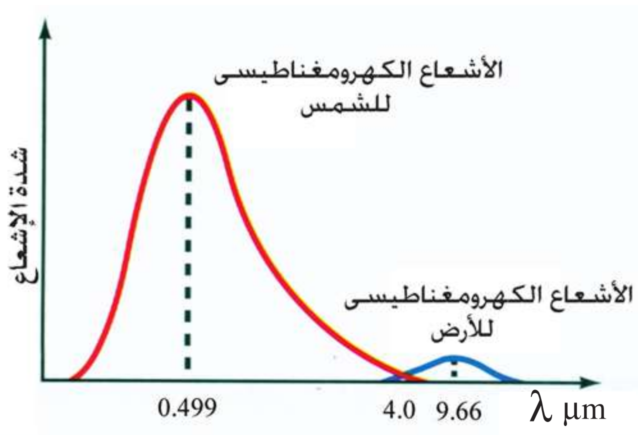
أيضاً بل والكائنات الحية. ولكن الأرض - باعتبارها جسماً غير متوهج - فإنها تمتص إشعاع الشمس، ثم تشعه مرة أخرى. ولكن لأن درجة حرارتها منخفضة كثيراً بالنسبة للشمس، فإننا نجد الطول الموجى عند قمة المنحنى حوالى 10 micron وهو فى نطاق الأشعة تحت الحمراء Infrared Radiation (شكل ١٢-٧). هناك أقمار صناعية وأجهزة قياس محمولة جوا وأجهزة أرضية تصور سطح الأرض باستخدام مناطق الطيف المختلفة ومن بينها الأشعة تحت الحمراء المنبعثة من سطح الأرض بالإضافة إلى الضوء فى المجال المرئى (شكل ١٢-٨)، وكذلك باستخدام الموجات الميكروموترية Microwaves والتى تستخدم فى الرادار.

يقوم العلماء بتحليل هذه الصور لتحديد مصادر الثروة الطبيعية Earth Resources، كما تستخدم فى التطبيقات العسكرية، مثل أجهزة الرؤية الليلية Night Vision لرؤية الأجسام المتحركة فى الظلام واضحة بفعل ما تشعه من إشعاع حرارى (شكل ١٢-٩ ، ١٢-١٠). كما يستخدم التصوير الحرارى Thermal Imaging فى الطب وخاصة فى مجال الأورام Tomography (شكل ١٢-١١)، والأجنة Embryology، كذلك فى مجال اكتشاف الأدلة الجنائية Criminology، حيث



(شكل ١٢-٦)

الإشعاع يقل مع زيادة التردد عكس توقعات الفيزياء الكلاسيكية



(شكل ١٢-٧)

مقارنة بين إشعاع الأرض وإشعاع الشمس

يبقى الإشعاع الحرارى لشخص فترة بعد انصراف الشخص. وتسمى هذه التقنية الاستشعار عن البعد Remote Sensing. و تعتبر مصر من الدول الرائدة فى هذا ا لمجال.



(شكل ١٢-٨)

صورة جنوب سيناء بالقمر الصناعى لاند سات

وسمى بلانك هذه الظاهرة إشعاع الجسم الأسود Black Body Radiation. أما سبب هذه التسمية فلأن الجسم الأسود هو الذى يمتص كل ما يسقط عليه من أشعة ذات أطوال موجية مختلفة. فهو ممتص مثالى Perfect Absorber، ثم يعيد إشعاعه بصورة مثالية، أى يكون باعثا مثاليا Perfect Emitter أيضاً.

فإذا تصورنا تجويفا Cavity مغلقاً به ثقب صغير، فإن ما بداخل هذا التجويف يبدو أسود ، لأن الإشعاع يظل فى معظمه محصورا بداخله من كثرة الانعكاسات، ولا يخرج إلا جزء يسير منه، وهو ما يسمى إشعاع الجسم الأسود (شكل ١٢-١٢).

استطاع بلانك أن يفسر ظاهرة إشعاع الجسم الأسود بفرض غريب على عصره، هو أن هذا الإشعاع يتألف من وحدات صغيرة أو دفقات من الطاقة يسمى كل منها



(شكل ١٢-٩)

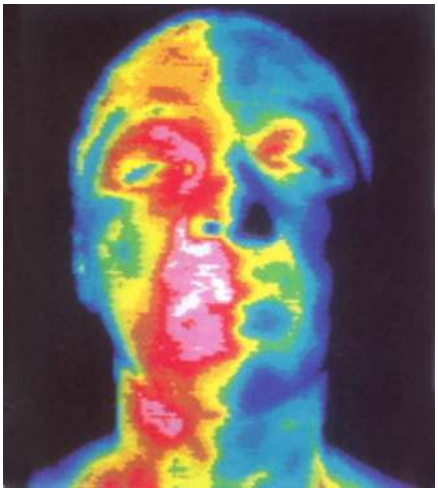
أ-جهاز الرؤية الليلية



(شكل ١٢-١٠)

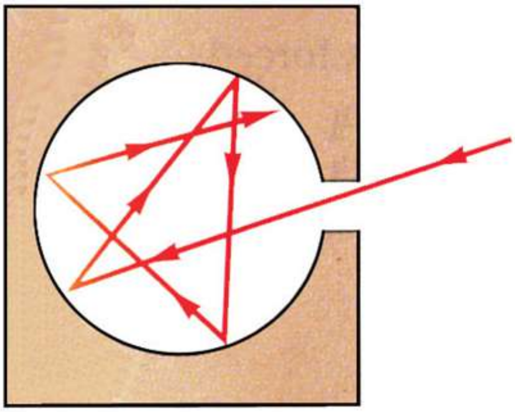
صورة ملتقطة بجهاز الرؤية الليلية

الكوانتم (الكم) Quantum أو فوتون Photon. وعلى ذلك فإن الإشعاع الصادر من الجسم المتوهج هو فيض هائل من هذه الفوتونات الصادرة من الجسم المتوهج، تزداد طاقتها كلما زاد ترددها، ولكن عددها يتناقص كلما زادت هذه الطاقة. وهذه الفوتونات تصدر عن تذبذب الذرات. وطاقة هذه الذرات المتذبذبة ليست متصلة وإنما مكماة Quantized، أو غير متصلة Discontinuous، أى منفصلة Discrete. وتأخذ مستويات الطاقة قيماً $E=nh\nu$ حيث h هو ثابت بلانك $h=6.625 \times 10^{-34}$ Js ، و ν هو التردد Frequency (Hertz-Hz). ولا تشع الذرة طالما بقيت فى مستوى واحد. ولكن كلما انتقلت الذرة المتذبذبة من مستوى طاقة عال إلى مستوى طاقة أقل فإنها تصدر فوتونا طاقته $E = h\nu$. وبذلك توجد فوتونات ذات طاقة عالية إذا كانت ν كبيرة، وفوتونات ذات طاقة منخفضة إذا كانت ν صغيرة. وحيث أن الإشعاع يتألف من بلايين من هذه الفوتونات، فنحن لا نلاحظ هذه الفوتونات منفصلة، ولكن نلاحظ خواص الإشعاع الصادر ككل. وهذه الخواص التى تعبر عن فيض الفوتونات هى الخواص الكلاسيكية للموجات. ويوضح شكل (١٢-١٣) صورة ملتقطة بكمية إضاءة تزداد تدريجيا أى يزداد عدد الفوتونات بكل لقطة، علما بأن العين قادرة على الإحساس حتى بفوتون واحد ساقط عليها.



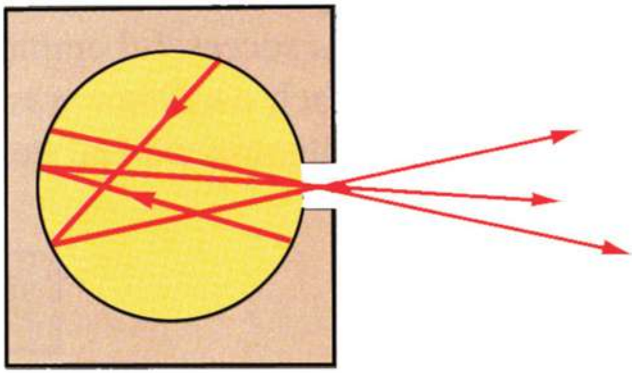
(شكل ١٢-١١)

صورة حرارية للوجه والرقبة



(شكل ١٢-١٢ أ)

ما يسقط داخل التجويف لا يخرج فيبدو أسود



(شكل ١٢-١٢ ب)

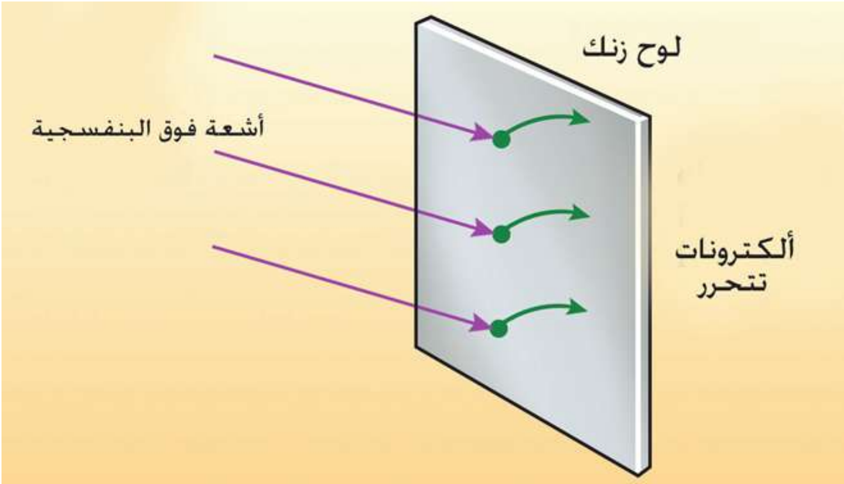
ما يخرج من التجويف خلال الثقب جزء يسير يسمى اشعاع الجسم الأسود



(شكل ١٢-١٣)
صورة يتغير فى كل لقطة منها عدد الفوتونات الساقطة
حيث يزداد من أ إلى و

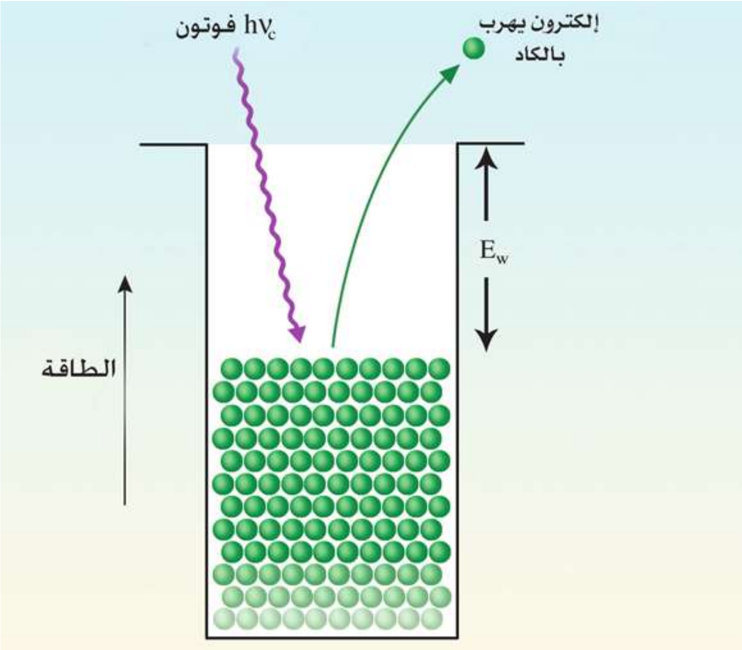
التأثير الكهروضوئى والإنبعاث الحرارى :

يحتوى المعدن على أيونات موجبة وإلكترونات حرة تستطيع أن تتحرك داخل المعدن، ولكنها لا تستطيع أن تغادره بسبب قوى التجاذب التى تجذبها دائما للداخل، وهو ما يسمى حاجز جهد السطح Surface Potential Barrier. ولكن يمكن لبعض هذه الإلكترونات أن تخرج إذا أعطيناها طاقة حرارية أو ضوئية مثلا (شكل ١٢-١٤). وهى فكرة أنبوبة شعاع الكاثود Cathode Ray Tube (CRT) وهى التى تستخدم فى شاشة التليفزيون والكمبيوتر (شكل ١٢-١٥)، حيث تتكون هذه الأنبوبة من سطح معدنى يسمى المهبط أو الكاثود Cathode، يتم تسخينه بواسطة فتيلة التسخين Filament. فتنطلق بعض الإلكترونات من المدفع الألكترونى E- Gun بفعل الحرارة، متغلبة على قوى الجذب عند السطح ، حيث تلتقطها الشاشة المتصلة بقطب موجب يسمى المصعد أو الأنود Anode، مما يسبب تياراً فى الدائرة الخارجية. وعندما تصطدم هذه الإلكترونات بالشاشة فإنها تصدر ضوءاً تختلف شدته من نقطة لأخرى، حسب شدة الإشارة الكهربية المرسلة التى تتحكم فى شدة تيار الإلكترونات بواسطة شبكة خاصة Grid تعترض طريق هذه الإلكترونات. ويمكن توجيه حزمة الإلكترونات E-beam بواسطة مجالات كهربية أو



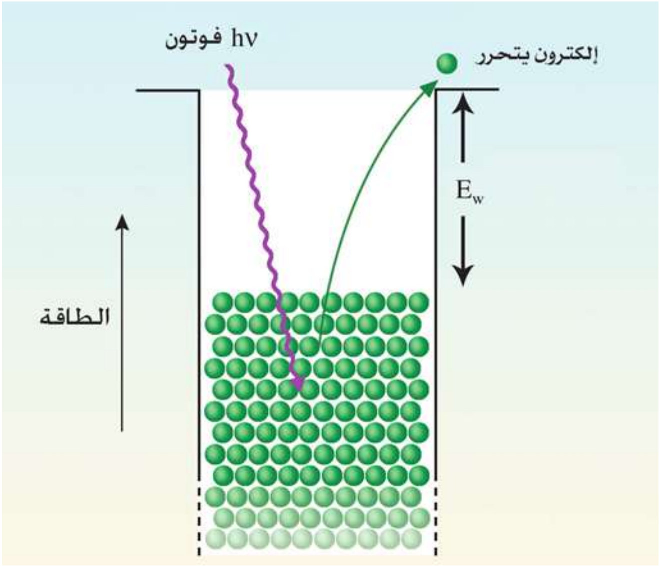
(شكل ١٢-١٤ أ)

يمكن أن يتحرر الإلكترون من المعدن إذا أعطى طاقة كامنة



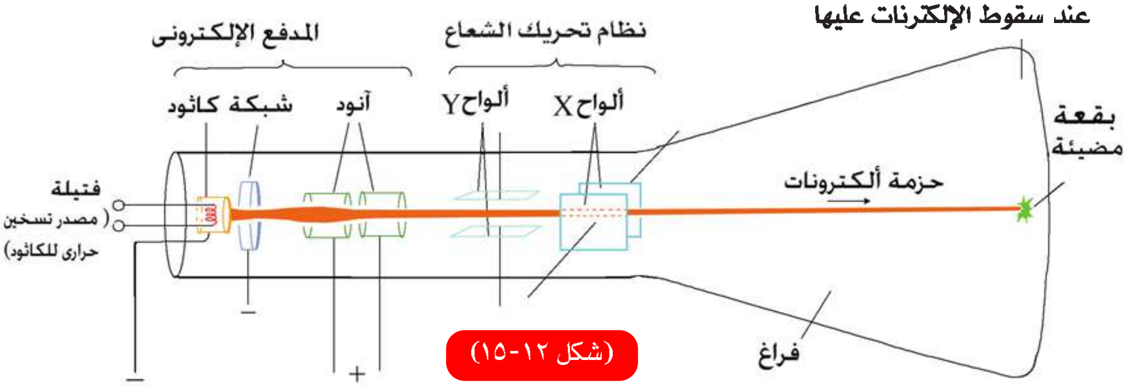
(شكل ١٢-١٤ ب)

أقل طاقة يمكن أن تحرر الإلكترون (دالة الشغل)



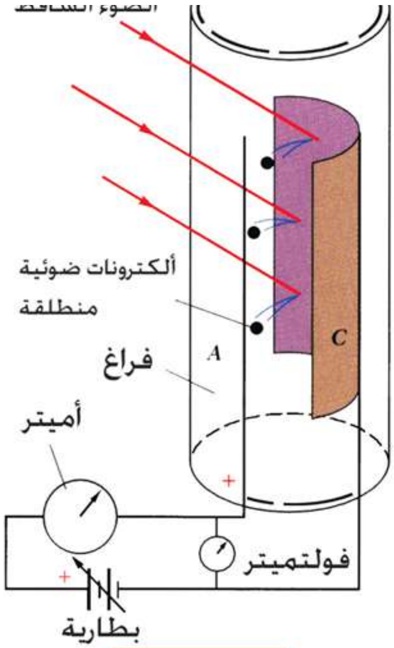
(شكل ١٢-١٤جـ)
الإلكترون الأكثر ارتباطا يحتاج إلى طاقة أكبر

مغناطيسية لمسح الشاشة نقطة بنقطة Raster حتى تكتمل الصورة (شكل ١٢-١٥). وعندما يسقط ضوء على الكاثود بدلاً من تسخين الفتيلة، فإن تياراً يمر أيضاً فى الدائرة. ومعنى ذلك أن الإلكترونات تحررت بفعل الضوء. وتسمى ظاهرة انطلاق الإلكترونات بسبب سقوط ضوء على سطح معدنى ظاهرة التأثير الكهروضوئى Photoelectric Effect (شكل ١٢-١٦). لا يمكن تفسير هذه الظاهرة بالنظرية الكلاسيكية للضوء. فبإعتبار أن الضوء موجات، يمكن أن يمتص بعضها فى المعدن، أى تعطى موجات الضوء طاقة للإلكترونات لتنطلق. عندئذ فإننا نواجه عدة مشكلات فى فهم ما يحدث فى المشاهدة العملية. فإنه طبقا لهذا التصور الكلاسيكى، فإن شدة التيار أو انطلاق



(شكل ١٢-١٥)
أنبوبة التليفزيون أو الكمبيوتر (CRT)

Photoelectrons) يتوقف على شدة الموجة الساقطة، بصرف النظر عن ترددها، وأن الطاقة الحركية للإلكترونات المنطلقة (أو سرعتها) يجب أن تزداد مع زيادة شدة الإضاءة. وكذلك حتى لو كانت شدة الإضاءة قليلة، فإن تسليط الضوء لمدة طويلة كفيل بإعطاء الإلكترونات الطاقة اللازمة لتتحرر، بصرف النظر عن تردد موجة الضوء الساقط.



(شكل ١٢-١٦)

تيار كهروضوئى ينشأ عن امتصاص فوتونات على سطح معدنى (خلية كهروضوئية)

ولكن المشاهدة العملية تختلف تماماً عن هذه التوقعات المبنية على النظرية الكلاسيكية. فقد لوحظ أن انطلاق الإلكترونات يتوقف بالدرجة الأولى على تردد الموجة الساقطة وليس شدتها. إذ لا تنطلق هذه الإلكترونات إلا إذا كان تردد الضوء الساقط أعلى من قيمة حرجة V_c مهما كانت الشدة. أما إذا زاد التردد عن V_c فإن التيار الكهروضوئى يزداد مع الشدة (شكل ١٢-١٧). ثم أن الطاقة الحركية للإلكترونات المنطلقة - أى سرعتها - تتوقف على تردد الموجة الساقطة أيضا وليس على شدتها. وان انطلاق الإلكترونات يحدث لحظيا. ولا تكون هناك فترة انتظار لتجميع الطاقة اللازمة لتحرير الإلكترونات إذا كانت شدة الإضاءة ضعيفة. بل إن الإلكترونات تنطلق فى التو واللحظة، حتى لو كانت شدة الإضاءة ضعيفة، ولكن بشرط أن يكون تردد الضوء أكبر من الحد الحرج V_c.

تمكن أينشتين Einstein من أن يفسر هذه المشاهدات التى عجزت النظرية الكلاسيكية للضوء عن تفسيرها. فاز أينشتين بجائزة نوبل فى الفيزياء عن هذا التفسير عام ١٩٢١م باكتشافه قانون التأثير الكهروضوئى.

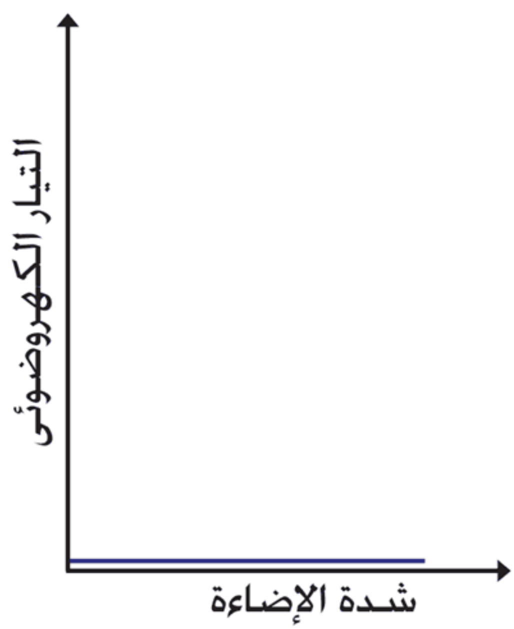
يتلخص هذا التفسير فيما يلى:

إذا سقط فوتون طاقته $h\nu$ على سطح معدنى، وكانت هذه الطاقة أكبر من حد معين $h\nu_c$، يساوى ما يسمى دالة الشغل ويرمز لها بالرمز Work Function E_w، وهى الطاقة اللازمة لتحرير الإلكترون من سطح المعدن (شكل ١٢-١٤)، فإن هذا الفوتون

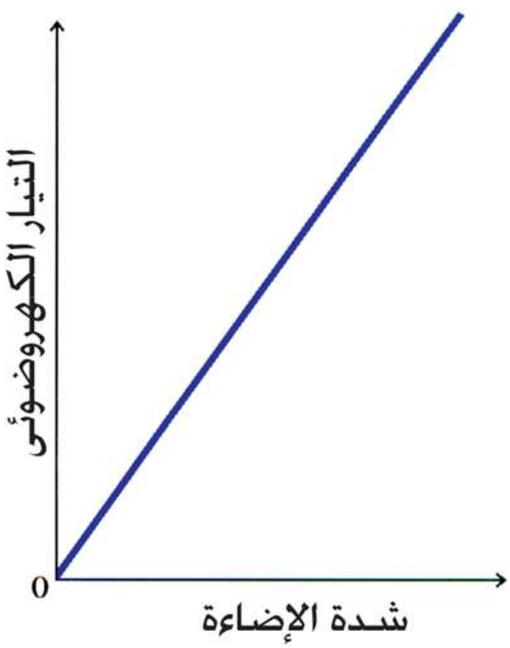
يستطيع بالكاد أن يحرر إلكتروناً، أى أن:

$$h\nu_c = E_w$$

فإذا زادت طاقة الفوتون الساقط عن ذلك، فإن الالكترون يتحرر، وفرق الطاقة يظهر على شكل طاقة حركية Kinetic Energy (KE)، أى يتحرك بسرعة أكبر، وتزداد هذه الطاقة الحركية بزيادة التردد، أما إذا كانت $h\nu$ أقل من E_w، فإن الالكترون لا يتحرر، مهما كانت شدة الإضاءة. كذلك فإن انطلاق الالكترونات يحدث لحظياً، ولا يكون هناك فترة إنتظار لتجميع الطاقة، بشرط أن تكون طاقة الفوتون $h\nu$ أكبر من E_w، وعلى ذلك فإنه $h\nu_c$ (حيث ν_c هى التردد الحرج) تتوقف فقط على E_w أى نوع المادة، ولا تتوقف على شدة الضوء، ولا زمن التعرض للضوء، ولا فرق الجهد بين المهبط والمصعد.



(شكل ١٢-١٧ أ)
إذا كانت $\nu < \nu_c$
تغير التيار الكهروضوئى مع شدة الإضاءة



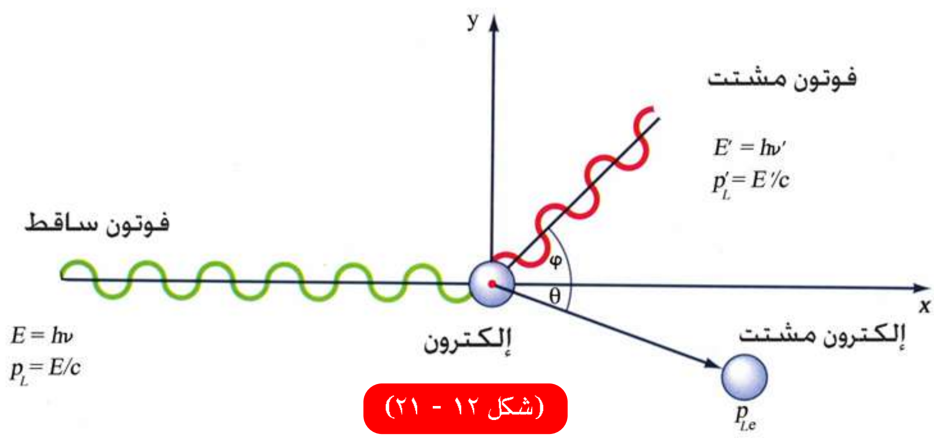
(شكل ١٢-١٧ ب)
إذا كانت $\nu > \nu_c$
تغير التيار الكهروضوئى مع شدة الإضاءة

ظاهرة كومتون Compton Effect

لوحظ أنه عند سقوط فوتون (من أشعة إكس أو جاما) على إلكترون حر أن تردد الفوتون يقل ويغير اتجاهه، وتزداد سرعة الإلكترون ويغير اتجاهه (شكل ١٢ - ٢١). ولا يمكن تفسير ذلك بالنظرية الموجية (الكلاسيكية). إنما يمكن تفسير ذلك من خلال فرض بلانك أن الاشعاع الكهرومغناطيسى مكون من فوتونات، وأن هذه الفوتونات يمكن أن تصطدم بالإلكترونات، كما تصطدم كرات البلياردو. عندئذ لابد من بقاء كمية الحركة Conservation of Momentum. أى أن كمية الحركة قبل التصادم تساوى كمية الحركة بعد التصادم. وكذلك قانون بقاء الطاقة Conservation of Energy أى أن (طاقة الفوتون + طاقة الإلكترون) قبل التصادم = (طاقة الفوتون + طاقة الإلكترون) بعد التصادم. ومن ثم، فإننا لابد أن نعتبر أن الفوتون جسيم له كمية حركة، أى سرعة وكتلة، كما للإلكترون سرعة وكتلة، وبالتالى كمية حركة.

خواص الفوتون:

من كل ما سبق من مشاهدات وتجارب، فإن الفوتون هو كم من الطاقة مركز فى حيز صغير جدا، وله كتلة وله كمية حركة. طاقته تساوى hv، وهو يتحرك باستمرار بسرعة الضوء c، وهى ثابتة مهما كان التردد. وقد أثبت أينشتين أن الكتلة والطاقة ترتبطان بعلاقته الشهيرة $E = mc^2$. أى أن فقد الكتلة يظهر على شكل طاقة. وهذا هو أساس القنبلة الذرية (شكل ١٢ - ٢٢)، حيث وجد أن انشطار النواة يصحبه فقد كتلة صغيرة جداً، ولكنه يتحول إلى طاقة كبيرة جدا حيث أن مربع سرعة الضوء كمية كبيرة جداً $(c^2 = 9 \times 10^{16}\ m^2/s^2)$. ولذلك فإن قانون بقاء الكتلة وقانون بقاء الطاقة



(شكل ١٢ - ٢١)
ظاهرة كومتون



(شكل ١٢ - ٢٢)

القنبلة الذرية

يندمجان فى قانون بقاء الكتلة والطاقة معا. ومعنى ذلك أن الفوتون الذى طاقته $h\nu$ تكون كتلته $h\nu/c^2$ أثناء حركته. وحيث أن سرعته c، فإن كمية الحركة وهى حاصل ضرب الكتلة فى السرعة تصبح $h\nu/c$. فإذا سقط شعاع من الفوتونات على سطح ما بمعدل ϕ_L Photons/s فإن كل فوتون يسقط على السطح وينعكس عنه، يعانى تغيراً فى كمية الحركة يساوى 2mc . إذاً القوة التى تؤثر بها حزمة الفوتونات على السطح هى التغير فى كمية الحركة فى الثانية.

$$F = 2mc\phi_L$$

$$F = 2\left(\frac{h\nu}{c}\right)\phi_L = \frac{2P_W}{c} \qquad (12\text{-}2)$$

حيث P_W هى القدرة بالوات Watts للطاقة الضوئية الساقطة على السطح. هذه القوة صغيرة جداً فلا تؤثر تأثيرا ملحوظا على سطح الحائط، ولكنها يمكن أن تؤثر على إلكترون حر لصغر كتلته وحجمه، فتقذفه بعيدا. وهذا هو تفسير ظاهرة كمبتون.

وفى النموذج الميكروسكوبى (المجهرى)، يمكن تصور الفوتون على أنه كرة نصف قطرها يساوى الطول الموجى للموجة λ، تتذبذب بمعدل ν . ومجموع هذه الفوتونات لها مجال كهربى ومجال مغناطيسى، والمجالان متعامدان على بعضهما البعض، وعلى اتجاه سريان حزمة الفوتونات. ولذلك فإننا نعتبر أن حزمة الفوتونات تحمل الطاقة التى يحملها شعاع الضوء. ونستطيع أن نراقب الخواص الموجية فى سلوك حزمة الفوتونات ككل، وشدة الموجة ـ ومقياسها شدة المجال الكهربى أو شدة المجال المغناطيسى المصاحب لشعاع الضوء ـ تدل على مدى تركيز الفوتونات. أى أن الحركة الموجية تكون مصاحبة لتيار فوتونات بأعداد كبيرة، وهذا ما يسمى النموذج الماكروسكوبى (أى الكبير) أى أن النموذجين الماكروسكوبى والميكروسكوبى مرتبطان ببعضهما البعض.

فإذا كان الأمر يتعلق بما يحدث على مستوى الإلكترون أو الذرة، فإننا نستخدم نموذج الفوتون وهو النموذج الميكروسكوبى. ولكن الخاصية الموجية والخاصية الجسيمية للفوتونات متلازمتان. المهم أن نفهم كيف نطبق كلا فى مكانه، حسب حجم العائق الذى يعترض طريق الضوء. فإن كان العائق له أبعاد أكبر بكثير من λ، طبقنا النموذج الماكروسكوبى. أما إذا كان العائق على مستوى الذرة أو الإلكترون أى فى حدود λ، فإننا لابد أن نتعامل مع النموذج الميكروسكوبى أى الفوتون.

مثال :

احسب القوة التى يؤثر بها شعاع قدرته 1 W على سطح حائط.

الحل

$$F = \frac{2P_w}{c} = \frac{2 \times 1}{3 \times 10^8} = 0.67 \times 10^{-8}\ N$$

وهذه القوة لاتكاد تؤثر على الحائط

علاقة الطول الموجى للفوتون بكمية الحركة الخطية

$$\lambda = c/\nu$$

بضرب البسط والمقام فى h

$$\lambda = \frac{hc}{h\nu} = \frac{h}{h\nu/c}$$

$$\because P_L = mc$$

$$= \frac{h\nu}{c^2}\ c$$

$$= \frac{h\nu}{c}$$

$$\therefore \boxed{\lambda = \frac{h}{P_L}} \qquad (12-3)$$

أى أن الطول الموجى هو ثابت بلانك مقسوما على كمية الحركة P_L. يلاحظ أنه عند سقوط فوتونات على سطح ما، فإن مقارنة تحدث بين λ والمسافة البينية لذرات السطح. إذا كانت λ أكبر بكثير من المسافات البينية، فإن الفوتونات تعامل هذا السطح كسطح متصل، وتنعكس منه، كما فى النظرية الموجية. أما إذا كانت المسافات البينية مقاربة للطول الموجى λ، فإن الفوتونات تنفذ من خلال الذرات. وهذا ما يحدث مثلا فى حالة أشعة X.

مثال:

احسب كتلة الفوتون وكمية حركته إذا كان $\lambda = 380nm$

الحل

$$\nu = c/\lambda = \frac{(3x10^{8}\ m/s)}{(380)\ (1x10^{-9}m)}$$

$$= 7.89\ x10^{14}\ Hz$$

$$m= E/c^2 = h\nu/c^2 = \frac{(6.625\ x\ 10^{-34}\ Js)\ (7.89x10^{14}\ s^{-1})}{(3x10^{8}m/s)^2}$$

$$= 5.81x10^{-36}\ kg$$

$$P_L = h/\lambda = \frac{(6.625\ x\ 10^{-34}\ Js)}{(380)\ (1x10^{-9}m)}$$

$$= 1.74x10^{-27}\ kgm/s$$

الطبيعة الموجية للجسيم :

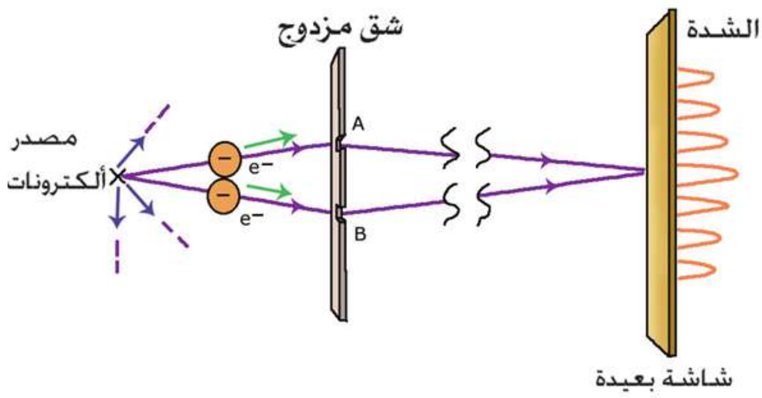
فى الكون قدر كبير من التماثل Symmetry. فإذا كانت الموجات لها طبيعة جسيمية، فلماذا لا يكون للجسيم طبيعة موجية؟ هذا التناظر Wave Particle Duality صاغه دى برولى De Broglie عام ١٩٢٣، بأن الجسيم له طبيعة موجية طولها الموجى

$$\lambda = h/P_L \qquad (12-4)$$

حيث P_L هى كمية حركة الجسيم، وهى معادلة مماثلة لمعادلة الفوتون.

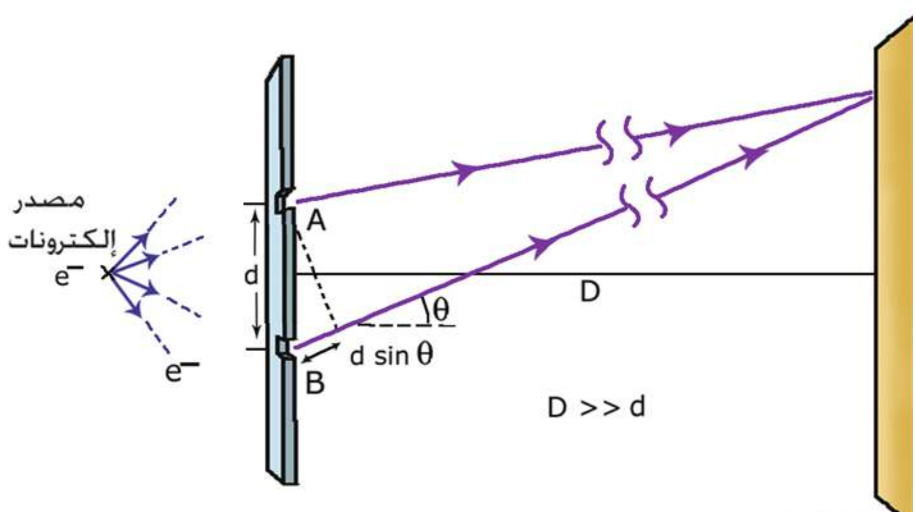
ولكن ما معنى ذلك؟ أننا ننظر إلى الضوء على أنه مجموعة هائلة من الفوتونات، فى إجمالها معا لها موجة مصاحبة تصف سلوكها الجماعى من انتشار وانعكاس وانكسار وتداخل وحيود، بحيث تصف شدة الموجة تركيز الفوتونات، كما لو كان الفوتون يحمل الصفات الوراثية للموجة، من حيث التردد والطول الموجى والسرعة. بنفس المنطق ، فإننا ننظر إلى شعاع من الإلكترونات على أنه مجموعة هائلة من الإلكترونات فى إجمالها لها موجة مصاحبة تصف سلوكها الجماعى. أما الإلكترون على حدة فهو أيضا يحمل الصفات الوراثية للكل، من حيث الشحنة والكتلة والدوران حول نفسه

(اللف المغـــزلى) Spin وكمية الحركة. وعلى هذا يكون للموجة المصاحبة طول موجى. ويعنى ذلك أن شدة الموجة المصاحبة تدل أيضا على تركيز الإلكتـــــرونات، ويكون للموجة المصاحبة خواص الانتـــشـــار والانعكاس والانكســـار والتـــداخل والحيود، تماما كالضوء (شكل ١٢ - ٢٥). ولكن هل معنى ذلك أنه يمكن استخدام شعاع من الإلكترونات كما نستخدم شعاعا من الضوء؟ الإجابة نعم، والدليل على ذلك هو اكتشاف الميكروسكوب الإلكترونى.



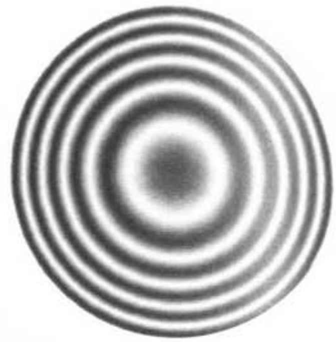
(شكل ١٢ - ٢٥ أ)

حيود الالكترونات فى شق مزدوج



(شكل ١٢ - ٢٥ ب)

حساب فرق المسار بين شعاعين من شق مزدوج



نموذج الحيود فى الضوء



نموذج الحيود فى الالكترونات

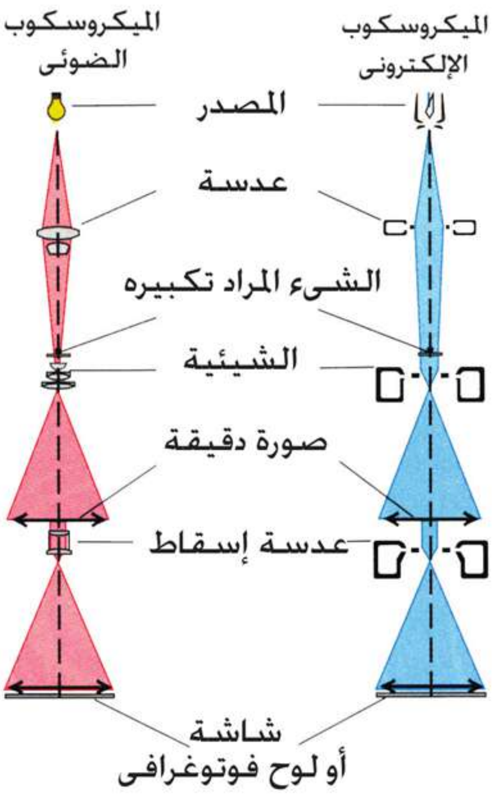
(شكل ١٢ - ٢٥ ج)

المجهر (الميكروسكوب) الإلكترونى Electron Microscope:

المجهر الإلكترونى يعتبر من الأجهزة المعملية التى تعتمد على الطبيعة الموجية للإلكترونات، وهو يشبه الميكروسكوب الضوئى فى نواح عديدة.

الاختلاف المهم بينهما هو قدرة التحليل Resolving Power، لأن المجهر الإلكترونى له قدرة تحليلية كبيرة جداً، لأن الإلكترونات بإمكانها أن تحمل طاقة حركة عالية جدا ومن ثم أطوالاً موجية قصيرة جدا (معادلة 3-12)، وبالتالى يكون معامل تكبيره كبيرا جداً، بحيث يستطيع أن يرصد أجساماً صغيرة، لا يستطيع الضوء العادى أن يرصدها (شكل ١٢ - ٢٨).

يستخدم المجهر الضوئى الشعاع الضوئى، أما المجهر الإلكترونى فيستخدم الشعاع الإلكترونى، والشعاع الإلكترونى له



(شكل ١٢ - ٢٨)

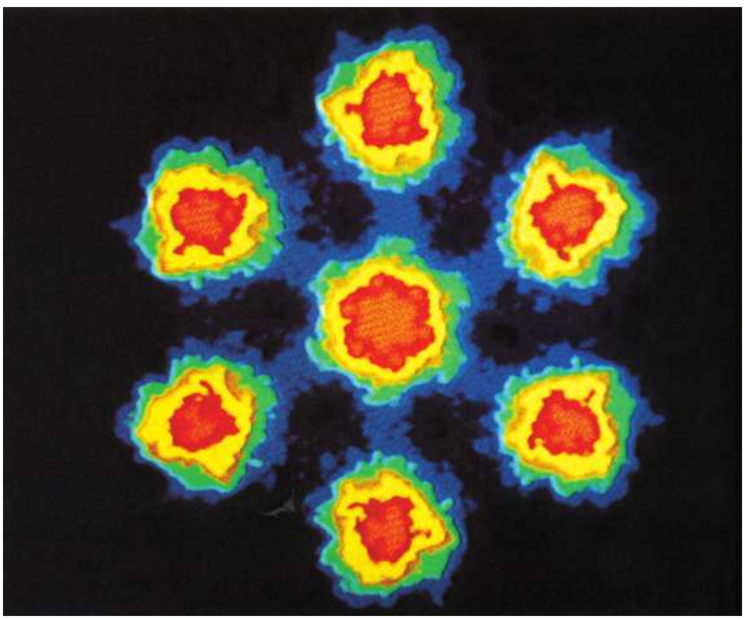
الميكروسكوب الإلكترونى

طول مـوجى أقصـر ألف مـرة أو أكثـر من الطول الموجى للشـعـاع الضـوئى المرئى. ولذلك فـإن المجـهـر الإلكتـرونى له قـدرة تمييز التفاصيل الدقيقة. أما العدسات المستخدمة فهى عدسات مغناطيسية تركز شعاع الإلكترونات. وتتم دراستها من خلال البصريات الإلكترونية Electron Optics.



(شكل ١٢ - ٢٨ب)

رأس ذبابة كما ترى بالميكروسكوب الإلكترونى



(شكل ١٢ - ٢٨جـ)

ذارت اليورانيوم كما ترى بنوع خاص من الميكروسكوب الإلكترونى

تلخيـــص

- الفيزياء الكلاسيكية لا تستطيع أن تفسر كثيرا من الظواهر ، وخاصة تلك التى يتعامل فيها الضوء أو الإشعاع الكهرومغناطيسى مع الإلكترون أو الذرة.
- الضوء أو أى إشعاع كهرومغناطيسى يتألف من مجموعة هائلة من الفوتونات، طاقة كل منها $h\nu$، حيث h ثابت بلانك وν التردد.
- الدليل على وجود الفوتونات ظاهرة التأثير الكهروضوئى، حيث يتوقف التيار الكهروضوئى على شدة الإضاءة الساقطة، طالما كان التردد أعلى من تردد حرج. أما إذا كان التردد أقل من التردد الحرج فلا يسرى تيار. وتتوقف طاقة حركة الإلكترونات المحررة بفعل التأثير الكهروضوئى على التردد وليس على شدة الإضاءة.
- الفوتون له كتلة وله كمية حركة وله سرعة ثابتة هى سرعة الضوء، وله حيز هو الطول الموجى، وبالتالى يؤثر بقوة صغيرة للغاية على أى سطح يسقط عليه . ولكن تأثير هذه القوة على إلكترون حر كبير لصغر حجمه وكتلته.
- تأثير كومتون إثبات للصفات الجسيمية للفوتونات، حيث يكون للفوتون كتلة وسرعة وكمية حركة.
- الموجة تصف السلوك الجماعى للفوتونات.
- الطول الموجى للفوتون هو ثابت بلانك مقسوماً على كمية الحركة. ونفس العلاقة تنطبق على الجسيم الحر، حيث يصف الطول الموجى فى هذه الحالة الموجة المصاحبة للجسيم.
- المجهر الإلكترونى دليل على علاقة دى برولى للجسيمات، ويستخدم فى رؤية الأبعاد بالغة الصغر.

أسئلة وتمارين

أولا: التمارين

١ - أحسب طاقة فوتون طوله الموجى 700 nm ثم احسب كتلته وكمية حركته.

$(2.58\times10^{-19}J \quad , \quad 0.29\times10^{-35}kg \quad , \quad 0.86\times10^{-27}kgm/s)$

٢ - أحسب كتلة الفوتونات فى حالة X ray وفى حالة γ ray إذا كان الطول الموجى لأشعة X 100nm وأشعة γ 0.05nm

$(m_X=2.01\times10^{-35}kg \quad , \quad m_\gamma=40.2\times10^{-33}kg)$

٣ - احسب الطول الموجى لكرة كتلتها 140kg تتحرك بسرعة 40m/s ، ثم احسب الطول الموجى لإلكترون إذا كان يتحرك بنفس السرعة.

$(\lambda=1.08\times10^{-37}m \quad , \quad \lambda_e=1.7\times10^{-5}m)$

٤ - محطة إذاعة تبث على موجة ترددها 92.4MHz احسب طاقة الفوتون الواحد المنبعث من هذه المحطة، ثم احسب عدد الفوتونات المنبعثة فى الثانية إذا كانت قدرة المحطة 100 kW

$(E=612.15\times10^{-28}J \quad , \quad n=1.8\times10^{29}\ s^{-1})$

٥- تعرض إلكترون لفرق جهد مقداره 20kV احسب سرعته عند التصادم مع المصعد من قانون بقاء الطاقة، حيث شحنة الإلكترون $1.6\times10^{-19}C$ وكتلته 9.1×10^{-31} kg ثم احسب الطول الموجى لهذا الإلكترون وكمية حركته.

$(v=0.838\times10^{8}m/s \quad , \quad \lambda=0.868\times10^{-11}m \quad , \quad P_L=7.625\times10^{-23}kgm/s)$

٦- إذا كانت أقل مسافة يمكن رصدها بمجهر إلكترونى 1 nm احسب سرعة الإلكترون ومن ثم جهد المصعد.

$(Velocity=0.662\times10^{6}m/s \quad , \quad V=1.25Volt)$

٧- احسب القوة التى يؤثر بها شعاع قدرته 100 kW على جسم كتلته 10 kg ماذا يحدث إذا كان الجسم إلكتروناً ؟ ولماذا ؟ $(F=0.67\times10^{-3}N)$

ثانيا: أسئلة المقال

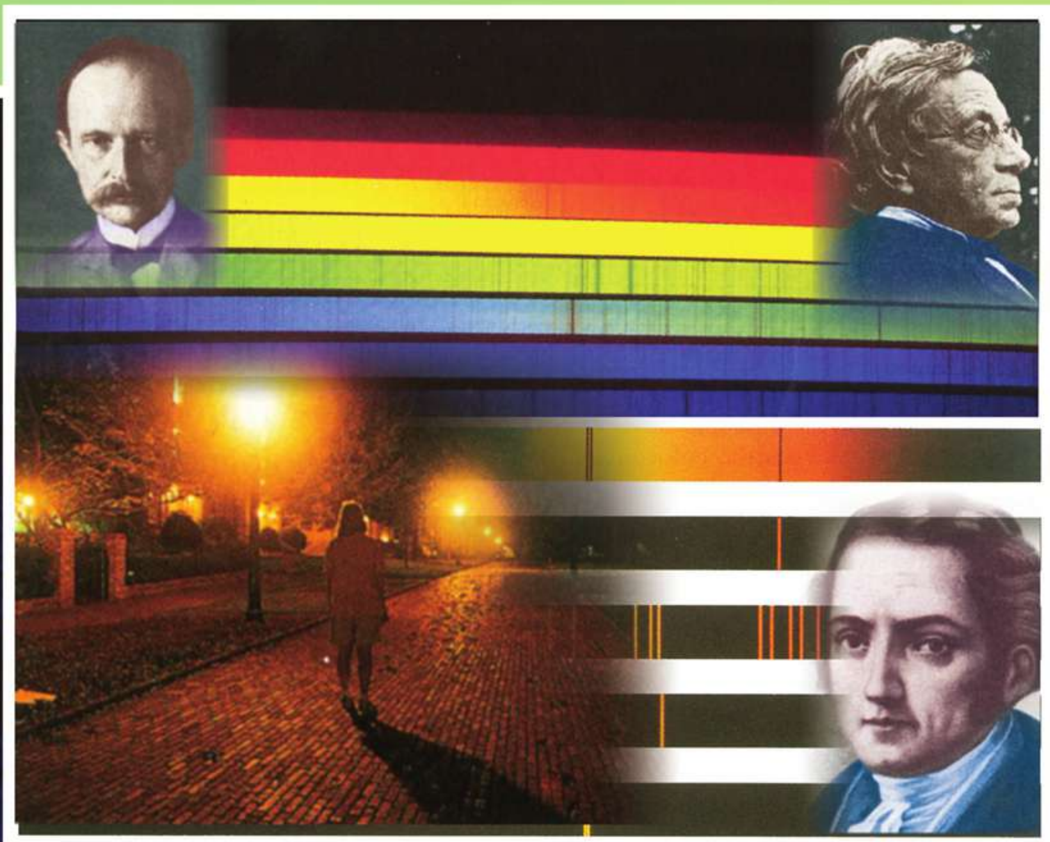
١- اشرح لماذا فشلت النظرية الموجية فى تفسير التأثير الكهروضوئى وكيف فسر أينشتين النتائج العملية لهذه الظاهرة.

٢- كيف تثبت الخاصية الجسيمية للضوء من إشعاع الجسم الأسود.

٣- اشرح ظاهرة كومتون وبين كيف أنها دليل على الخاصية الجسيمية للضوء.

مقدمة فى الفيزياء الحديثة

الوحدة الثالثة



الفصل السادس : الأطياف الذرية

الفصل السادس

الأطـــيـــاف الـــذريـــة

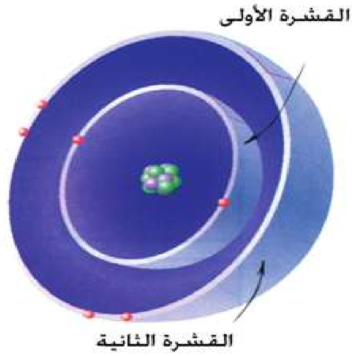
مقدمة :

كلمة الذرة Atom تعود إلى اللغة الإغريقية وتعنى الوحدة التى لاتنقسم. ووضع العلماء تصورات مختلفة لتركيب الذرة من خلال التجارب العملية كما يلى:

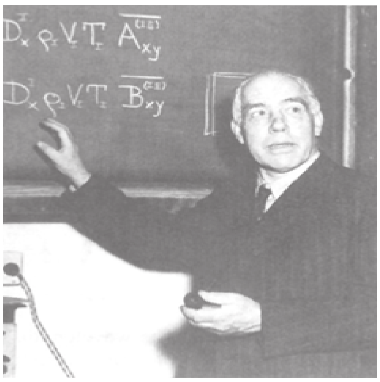
نموذج ذرة بور Bohr's Model (١٩١٣)

درس بور الصعوبات التى واجهت نموذج رذرفورد وتوصل إلى نموذج لذرة الهيدروجين مستخدمًا تصورات رذرفورد، وهى:

(١) توجد عند مركز الذرة نواة موجبة الشحنة.



(شكل ١٣ - ٥أ)
نموذج بور الذرى



بـور

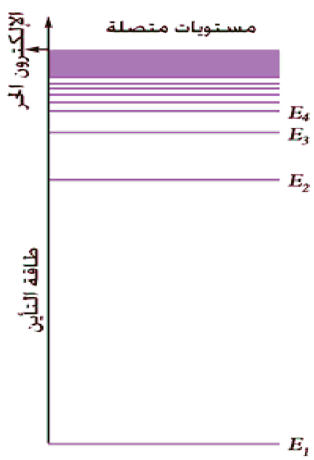
(٢) تتحرك الإلكترونات سالبة الشحنة حول النواة فى مدارات محددة تعرف باسم الأغلفة Shells لكل منها مستوى طاقة. ولا يصدر الإلكترون إشعاعًا طالما كان يتحرك فى مستوى الطاقة الخاص به (شكل ١٣-٥).

(٣) الذرة متعادلة كهربيًا حيث أن شحنة الإلكترونات حول النواة يساوى عدد الشحنات الموجبة التى تحملها النواة.

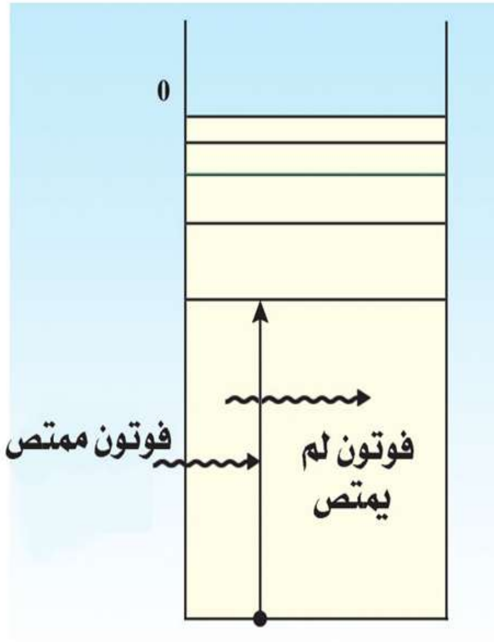
ثم أضاف إليها الفروض الثلاثة الهامة الاتية:

١- إذا انتقل إلكترون من مدار خارجى طاقته E_2 إلى مدار داخلى طاقته E_1 $(E_2 > E_1)$ فإنه تنطلق نتيجة لذلك كمية من الإشعاع (أى فوتون) طاقته

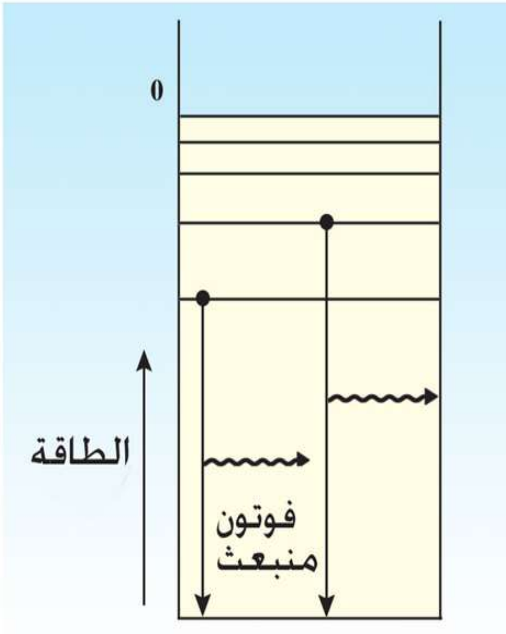
$$h\nu = E_2 - E_1$$



(شكل ١٣ -٥ ب)
مستويات الطاقة بالذرة



(شكل ١٣ -٥ جـ)
امتصاص فوتون



(شكل ١٣ -٥ د)
فوتون منبعث

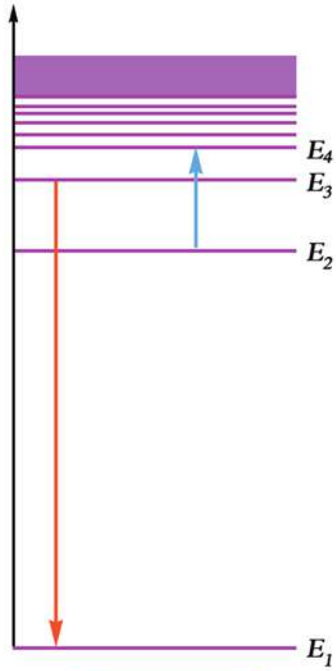
حيث v تردد الإشعاع المنبعث (شكل ١٣-٦).

٢- القوى الكهربية (قانون كولوم) و القوى الميكانيكية (قانون نيوتن) قابلة للتطبيق فى مجال الذرة.

٣- يمكن حساب المدار تقديريا إذا اعتبرنا أن الموجة المصاحبة له تمثل موجة موقوفة (احسب نصف قطر المدار عند $n = 1,2,3$).

انبعاث الضوء من ذرة بور (الطيف الخطى لغاز الهيدروجين):

١- عند إثارة ذرات الهيدروجين (بأن تكتسب طاقة) فإنها لا تثار كلها بنفس الدرجة، ولذلك تنتقل الإلكترونات فى الذرات المختلفة من المستوى الأول K $(n=1)$ إلى مستويات مختلفة أعلى منه $(n = 2 \text{ or } 3 \text{ or } 4 \ldots)$



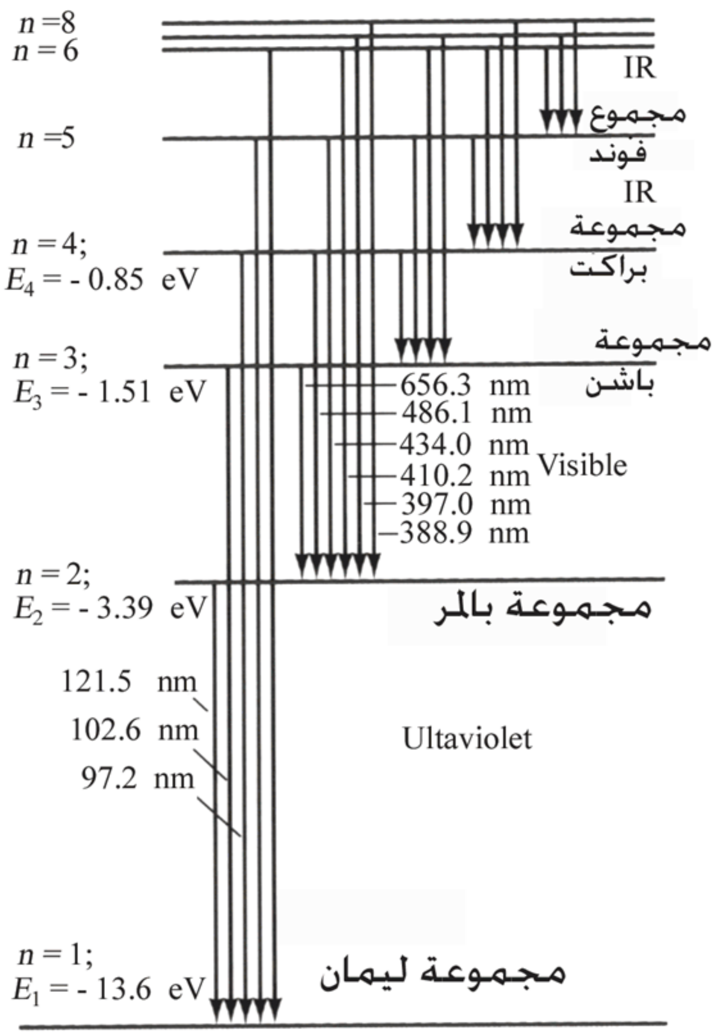
(شكل ١٣ -٦)
انتقال الالكترونات بين مستويات الطاقة

٢- لا تبقى الإلكترونات فى مستويات الطاقة العالية إلا لفترة قصيرة جدًا (تقدر بنحو 10^{-8} ثانية) ثم تهبط إلى مستويات أدنى.

٣- عندما يهبط الإلكترون من مستوى طاقة أعلى إلى مستوى طاقة أدنى فإنه يفقد فرق الطاقة على شكل إشعاع تردده (ν) وطاقته ($h\nu$)، حيث $h\nu = E_2 - E_1$ وطوله الموجى $\lambda = \frac{c}{\nu}$

٤- ولذلك يتكون الطيف الخطى للهيدروجين من خمس مجموعات (أو متسلسلات Series) من الخطوط، كل خط منها يقابل طاقة محددة، وبالتالى ترددا محددا.

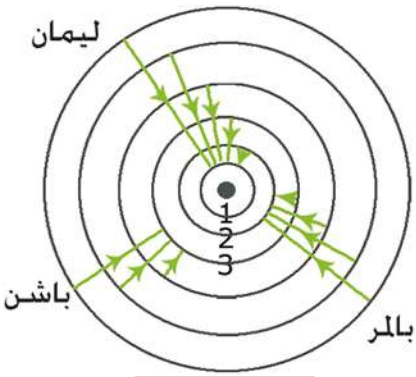
وتترتب المتسلسلات لطيف ذرة الهيدروجين (شكل ١٣-٨) كما يلى:



شكل (١٣ - ١٧أ)

صورة لمتسلسلات ذرة الهيدروجين

١- مـجـمـوعـة ليـمـان Leyman حـيث ينتـقل الإلكتـرون إلـى المسـتـوى K (n = 1) من المسـتـويات الأعلى. وتقع هذه المجـمـوعـة فى منطقة الأشـعـة فـوق البنفـسـجـيـة وهى ذات أطوال موجية قصيرة وترددات عالية.



شكل (١٣ - ٧ب)

نموذج الذرة لأطياف الهيدروجين

٢- مجموعة بالمر Balmer حيث ينتقل الإلكترون من المستويات العليا إلى المستوى L (n = 2) وتقع

هذه المجموعة فى منطقة الضوء المنظور.

٣- مجموعة باشن Paschen حيث ينتقل الإلكترون من المستويات العليا إلى المستوى M (n = 3) وتقع هذه المجموعة فى منطقة الأشعة تحت الحمراء.

٤- مجموعة براكت Bracket حيث ينتقل الإلكترون من المستويات العليا إلى المستوى N (n = 4)، وتقع هذه المجموعة فى منطقة الأشعة تحت الحمراء.

٥- مجموعة فوند Pfund حيث ينتقل الإلكترون من المستويات العليا إلى المستوى O (n = 5)، وتقع هذه المجموعة فى أقصى المنطقة تحت الحمراء وهى أكبر الأطوال الموجية وأقلها ترددا.

المطياف Spectrometer:

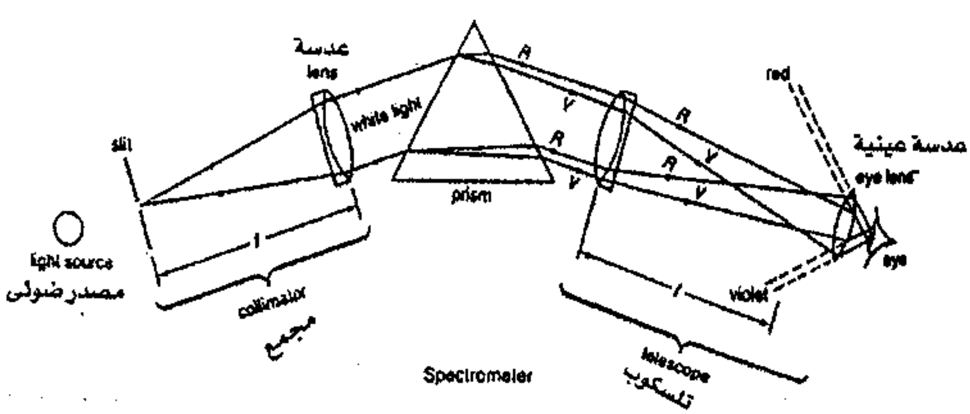
للحصول على طيف نقى يستخدم عادة المطياف (Spectrometer) (شكل ١٣-٨). ويتكون من ثلاثة أجزاء رئيسية، هى:



شكل (١٣ – ٨أ)

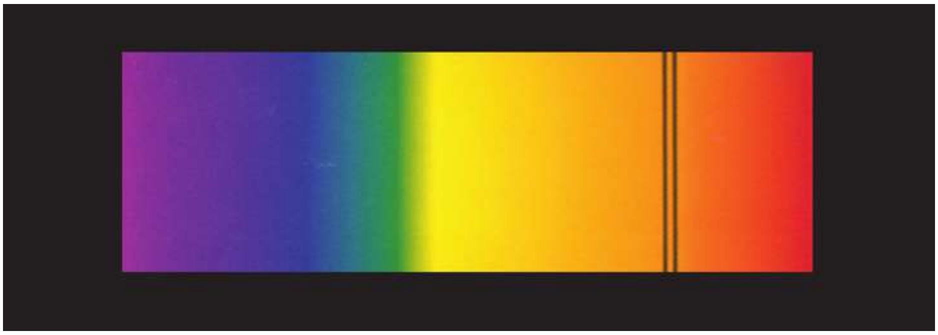
جهاز المطياف

١- مصدر الأشعة: وهوعبارة عن مصدر ضوئى أمامه فتحة مستطيلة ضيقة يمكن التحكم فى اتساعها بواسطة مسمار محوى. توجد هذه الفتحة فى بؤرة عدسة محدبة.



شكل (١٣ – ٨ب)

رسم تخطيطى للمطياف



شكل (١٣ - ٨جـ)

استخدام المطياف لتقدير درجة حرارة النجوم وما بها من غازات

٢- منضدة قابلة للدوران يوضع عليها منشور ثلاثى من الزجاج.

٣- تلسكوب ويتكون من عدستين محدبتين هما الشيئية والعينية.



فرانهوفر

لاستخدام المطياف فى الحصول على طيف نقى تضاء الفتحة المستطيلة الضيقة - كما فى الشكل السابق - بضوء أبيض متألق يسقط من الفتحة على المنشور فى وضع النهاية الصغرى للانحراف، ويوجه التلسكوب لاستقبال الأشعة المارة خلال المنشور، ويتضح أن أشعة كل لون تكون متوازية فيما بينها، وغير موازية لأشعة الألوان الأخرى. لذلك تعمل الشيئية على تجميع كل منها فى بؤرة خاصة فى المستوى البؤرى لهذه العدسة يمكن رؤيتها محددة بواسطة العينية، وبذلك يتم الحصول على طيف نقى.

بدراسة الأطياف للمواد المختلفة ، والتى تكون ذراتها فى حالة إثارة نلاحظ أن:

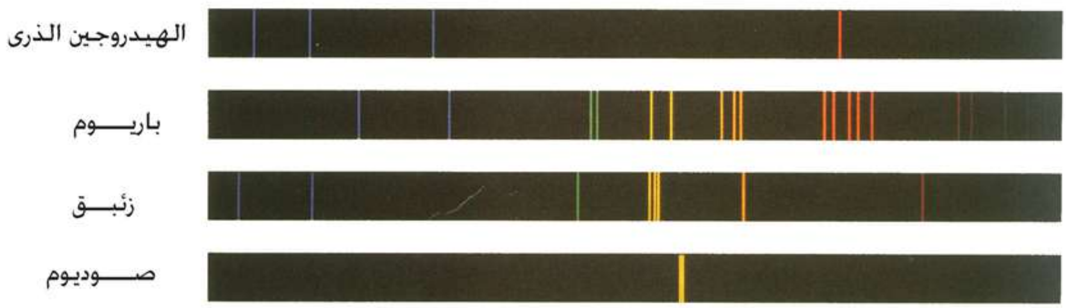
- الطيف الذى يتكون من جميع الأطوال الموجية أو يتضمن توزيعًا مستمرًا أو متصلاً للترددات يكّون صورة طيف شريطى فيما يعرف بالطيف المستمر.

- أما الطيف الذى يتضمن توزيعًا غير مستمر للترددات أو الأطوال الموجية يسمى الطيف الخطى.

- الطيف الناتج عن إنتقال الذرات المثارة من مستوى أعلى إلى مستوى أدنى يسمى طيف إنبعاث.

وجد عمليًا أنه إذا مر ضوء أبيض خلال غاز فإنه يلاحظ اختفاء بعض الأطوال الموجية فى الطيف المستمر للضوء الأبيض بعد تحليله. هذه الأطوال الموجية هى نفسها الأطوال الموجية فى أطياف الانبعاث الخطية لهذا الغاز شكل (١٣ – ٩) .

يسمى هذا الطيف بطيف الامتصاص الخطى Absorption Spectra. وتمثل خطوط فرونهوفر Fraunhofer فى طيف الشمس أطياف امتصاص خطية للعناصر الموجودة فى جو الشمس. أثبت ذلك وجود عنصرى الهليوم و الهيدروجين على الشمس.



شكل (١٣ – ٩)
طيف الامتصاص لبعض العناصر

الأشعة السينية X-Rays

ما هى الأشعة السينية؟

هى أشعة كهرومغناطيسية غير مرئية، طولها الموجى قصير (ما بين 10^{-8}m , 10^{-13}m). وتقع بين الأطوال الموجية للأشعة فوق البنفسجية وأشعة جاما وبالتالى فهى عالية الطاقة.

أول من اكتشفها رونتجن Rontgen، وسماها هكذا لأنه لم يعرف ماهيتها، فأطلق عليها اسم الأشعة المجهولة.

خواصها:

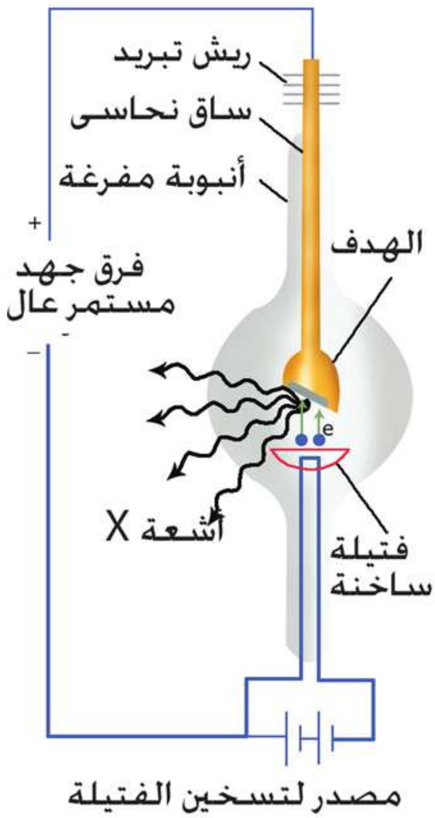
- ذات قدرة كبيرة على اختراق الأوساط.
- ذات قدرة كبيرة على تأيين الغازات.
- تحيد فى البلورات.

- تؤثرعلى الألواح الفوتوغرافية الحساسة.

طريقة الحصول على الأشعة السينية باستخدام أنبوبة كولدج Coolidge

عند تسخين الفتيلة تنطلق الإلكترونات نحو الهدف تحت تأثير المجال الكهربى، حيث تكتسب طاقة حركة كبيرة جدًا يتوقف مقدارها على فرق الجهد بين الفتيلة والهدف.

عندما تصطدم الإلكترونات بالهدف (من التنجستن) يتحول جزء من طاقتها أو كلها إلى أشعة إكس شكل (١٣ - ١٠).



شكل (١٣ - ١٠)

أنبوب كولدج لتوليد الأشعة السينية

طيف الأشعة السينية:

بتحليل حزمة من الأشعة السينية الصادرة من هدف ما إلى مكوناتها من الأطوال الموجية المختلفة نحصل على طيف يتكون من مركبتين شكل (١٣ - ١١) :

أ- طيف متصل Continuous Spectrum من جميع الأطوال الموجية (فى حدود معينة) لا تتغير بتغير مادة الهدف.

ب- طيف خطى Line Spectrum يقابل أطوالاً موجية محددة تميز العنصر المكون لمادة الهدف يسمى بالطيف المميز للأشعة السينية.

تفسير تولد الأشعة السينية:

أ- الطيف الخطى المميز:

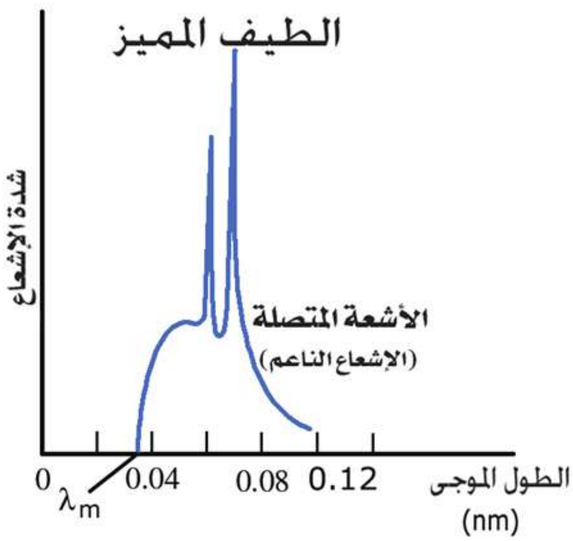
ينتج الطيف الخطى إذا اصطدم الإلكترون بأحد الإلكترونات القريبة من نواة فى

مادة الهدف. حيث يكتسب الأخير كمية كبيرة من الطاقة، فيقفز إلى مستوى طاقة أعلى أو يغادر الذرة، ويحل محله إلكترون اخر من أحد المستويات الخارجية ذات الطاقة الأعلى.

ويظهر الفرق بين طاقة المستويين على شكل إشعاع له طول موجى محدد.

ويلاحظ أن:

١- الطول الموجى للأشعة المميزة لا يتوقف على فرق الجهد المستخدم، ولكن يتوقف على نوع العنصر، فكلما زاد العدد الذرى للعنصر(مادة الهدف) نقص الطول الموجى للإشعاع المميز.



شكل (١٣ - ١١)

الطيف المتصل والطيف الخطى

٢- عند فروق الجهود المنخفضة قد لا تظهر الأشعة المميزة.

٣- يمكن حساب الطول الموجى لأشعة إكس (السينية) المميزة أو الشديدة Hard من العلاقة:

$$h \times \frac{c}{\lambda} = (\Delta E) \qquad (13\text{-}1)$$

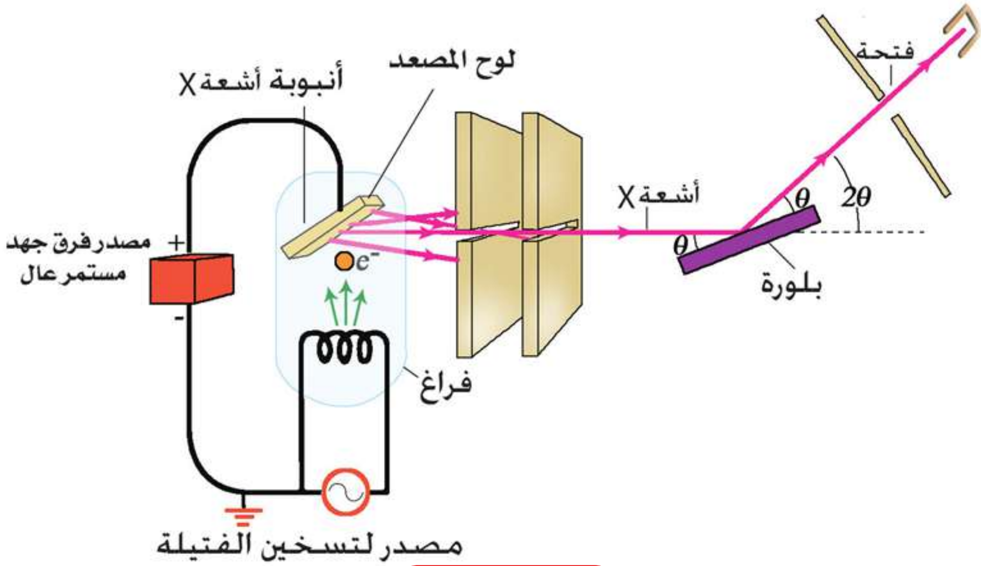
ب- الطيف المستمر أو المتصل:

ينتج نتيجة تناقص سرعة الإلكترونات بمرورها قرب إلكترونات ذرات مادة الهدف، فتقل طاقتها نتيجة التصادمات والتشتت Scattering، وتصدر اشعاعاً كهرومغناطيسياً بناء على نظرية ماكسويل- هرتز . لذلك يسمى هذا الإشعاع الاشعاع المستمر أو المتصل أو أشعة الكابح (الفرملة) Bremstrahlung أو الإشعاع اللين Soft.

الفرق بين طاقة الالكترونات الأصلية وطاقتها بعد مرورها فى مادة الهدف يظهر على شكل إشعاع كهرومغناطيسى يحتوى على جميع الأطوال الموجية الممكنة؛ لأن الإلكترونات تفقد طاقتها على دفعات وبدرجات متفاوتة.

هذا الإشعاع هو الإشعاع المستمر (الطيف المستمر للأشعة السينية).

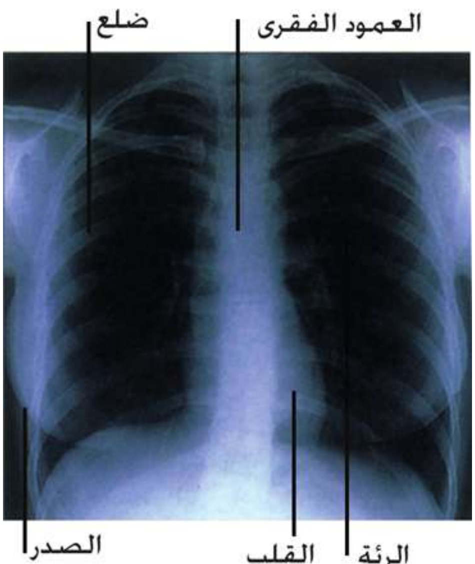
التطبيقات الهامة للأشعة السينية:



شكل (١٣ - ١٢)

استخدام أشعة اكس فى دراسة البلورات

١- من أهم خصائص الأشعة السينية قابليتها للحيود عند مرورها فى البلورات، لذلك تستخدم فى دراسة التركيب البلورى للمواد **شكل (١٣ - ١٢)**، حيث يحدث تداخل بين الموجات التى تنفذ من بين الذرات، كما لو كانت فتحات عديدة، مثلما يحدث في التداخل في الشق المزدوج وهو يشبه بذلك ما يسمي محزوز الحيود Diffraction Grating حيث تتكون هدب مضيئة ومظلمة تبعا لفرق المسار بين الموجات المتداخلة.



شكل (١٣ - ١٣)

أشعة اكس للصدر

٢- لها قدرة كبيرة على النفاذ. ولذلك تستخدم فى الكشف عن العيوب التركيبية فى المواد المستخدمة فى الصناعات المعدنية.

٣- بالإضافة إلى خاصية النفاذ، فلها قدرة على تصوير العظام لتحديد الكسور أو الشروخ وفى بعض التشخيصات الطبية **شكل (١٣ - ١٣)**.

تلخيــــص

- فروض بور وتصوره لذرة الهيدروجين.

- عندما يقفز الالكترون من مستوي طاقة اعلى الى مستوى طاقة اقل فإنه يصدر اشعاعا تردده ν وطاقته $(h\nu)$ تساوى مقدار الفرق بين طاقتى المستويين اى ان:

$$h\nu = E_2 - E_1$$

حيث E_2 طاقة المستوى الاعلى، E_1 طاقة المستوى الاقل.

- يتكون الطيف الخطي لذرة الهيدروجين من خمس مجموعات او متسلسلات من الخطوط. كل خط منها يقابل طاقة محددة، وبالتالي ترددا وطولا موجيا محددا . هى:

مجموعه ليمان	فى المنطقة فوق البنفسجية
مجموعة بالمر	فى منطقة الضوء المنظور
مجموعة باشن	فى المنطقة تحت الحمراء
مجموعة براكت	فى المنطقة تحت الحمراء
مجموعة فوند	فى اقصى المنطقة تحت الحمراء

- المطياف: هو جهاز يستخدم فى تحليل الضوء الى مكوناته (المرئية وغير المرئية).

- الاشعة السينية:

هى أشعة غير مرئية اطوالها الموجية قصيرة جدا، واول من اكتشفها رونتجن Rontgen عام ١٨٩٥. نظرا لعدم معرفته بطبيعتها اطلق عليها اسم اشعة اكس (الأشعة المجهولة).

- يستخدم حيود الاشعة السينية فى دراسة التركيب البللورى للجوامد، وفى كثير من المجالات الطبية والصناعية.

أسئلة وتمارين

أولا: أسئلة المقال

١- كيف استطاع بور أن يفسر طيف ذرة الهيدروجين ؟

٢ - على أى أساس تم تقسيم طيف ذرة الهيدروجين إلى خمس مجموعات ؟

٣ - علل: تعتبر مجموعة ليمان من مجموعات طيف ذرة الهيدروجين أكبرها طاقة بينما مجموعة فوند أقلها طاقة .

٤ - إشرح كيف يستخدم المطياف فى الحصول على طيف نقى

٥ - وضح برسم كامل البيانات كيفية توليد أشعة X باستخدام أنبوبة كولدج

٦ - قارن بين الطيف المميز للاشعه السينية والطيف المتصل لها.

٧ - اشرح كيف يحدث كل من الطيف الخطى المميز والطيف المتصل للأشعة السينية ثم قارن بينهما.

٨ - أذكر بعض التطبيقات الخاصة بالأشعة السينية.

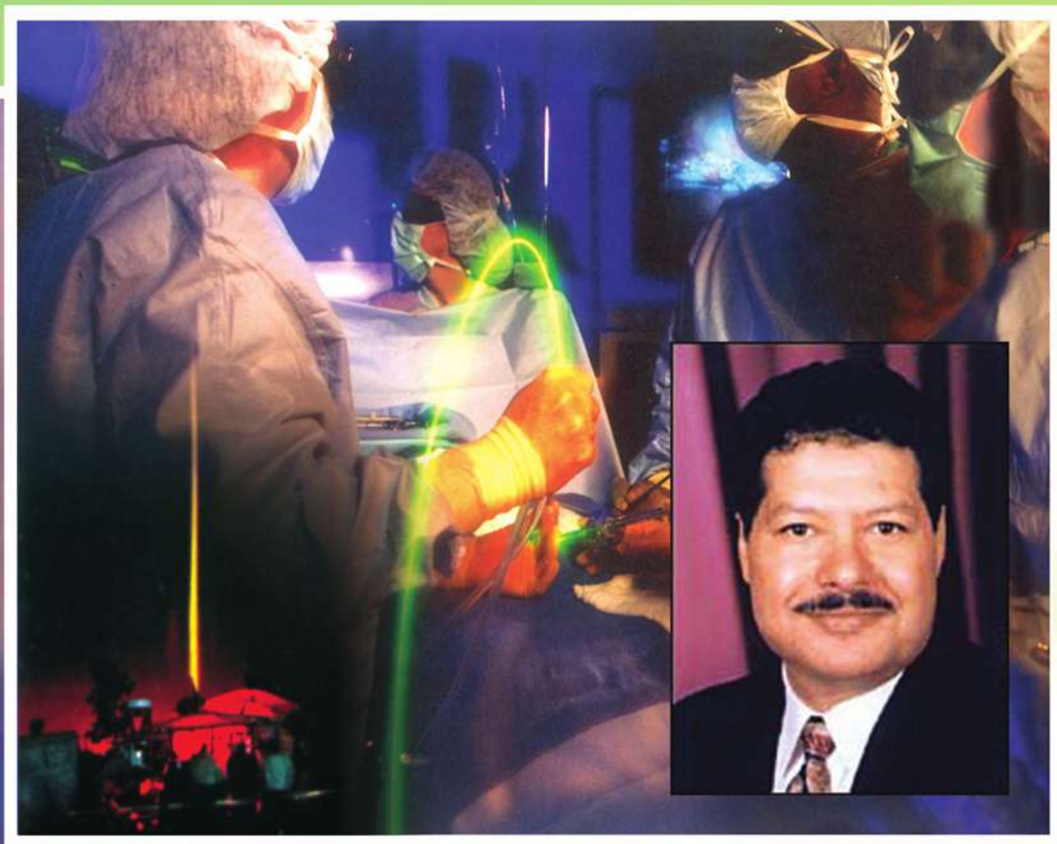
ثانيا: عرف كلا من

١- الطيف الخطى　　٢- الطيف المستمر

٣- طيف الإمتصاص　　٤- طيف الإنبعاث .

مقدمة فى الفيزياء الحديثة

الوحدة الثالثة



الفصل السابع : الليـــزر

الفصل السابع

الليزر Laser

مقدمة :

قلما ترك اكتشاف علمى من أثر على مجالات وتطبيقات على أفرع العلم مثلما تركه اكتشاف أشعة الليزر . فقد شملت تطبيقاته علم البصريات و علم الفيزياء عامة، وسائر أفرع العلوم الأساسية؛ الكيمياء الجيولوجيا والبيولوجيا، وأفرع العلوم التطبيقية كالطب والهندسة، وبالأخص الاتصالات.

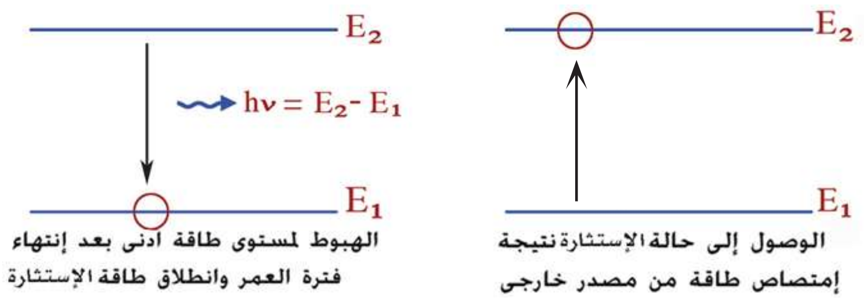
كلمة ليزر كلمة جديدة على اللغة العربية، وهى الحروف الأولى من كلمات باللغة الانجليزية تعنى تضخيم (أو تكبير) شدة الضوء بواسطة الانبعاث المستحث .
Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation

فى عام ١٩٦٠ توصل العالم الأمريكى ميمان Maiman من صناعة أول ليزر بواسطة بللورة من الياقوت Ruby المطعم بالكروم. بعده بشهور أمكن تركيب الليزر الغازى مثل ليزر He-Ne، ثم توالى تركيب الأنواع المختلفة من الليزر.

الانبعاث التلقائى Spontaneous Emission والانبعاث المستحث Stimulated Emission

عرفنا مما سبق أن للذرة مستويات طاقة - أدناها يسمى المستوى الأرضى Ground State، وهو الذى تتواجد فيه الذرة فى حالتها العادية. وإذا رمزنا لطاقةالمستوى الأرضى بالرمز E_1 ورمزنا لطاقة المستويات التى تليه بالرموز E_2, E_3, E_4، فإن هذه المستويات تسمى مستويات اثارة الذرة Excited States واذا تواجدت الذرة فى أحد هذه المستويات تكون ذرة مثارة Excited Atom. إذا قذفنا ذرة فى حالتها العادية بفوتون طاقته $(E_2 - E_1)$، فإن الذرة تمتص هذا القدر من الطاقة، وتنتقل من المستوى الأرضى إلى مستوى الإثارة الأول الذى تبلغ طاقته E_2. تسمى هذه العملية إثارة الذرة إلى المستوى E_2. ولكن سرعان ما تتخلص الذرة بعد فترة وجيزة (حوالى 10^{-8}s) ـ تسمى فترة العمر Lifetime ـ من طاقة الإثارة بإشعاعها على شكل فوتون، وتعود إلى حالتها العادية (شكل ١٤-١).

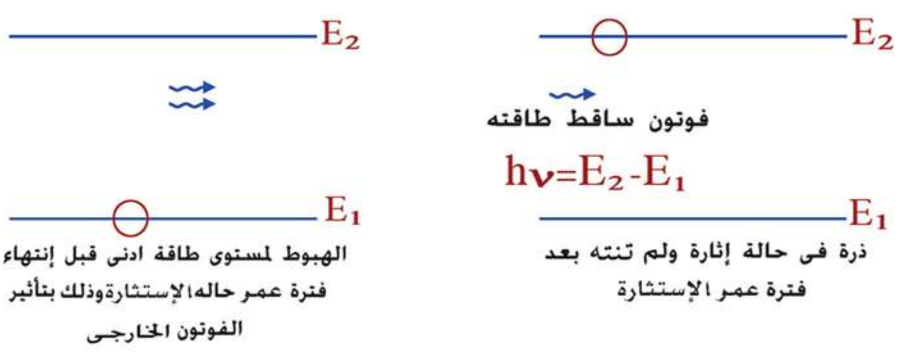
ويسمى هذا الإشعاع التلقائى Spontaneous Emission (وهو الانبعاث السائد فى مصادر الضوء العادية). ويكون للفوتون المنبعث نفس تردد الفوتون الذى سبب الإثارة ، أما الاتجاه والطور فهما عشوائيان (شكل ١٤-١).



(شكل ١٤ - ١)

الانبعاث التلقائى

وفى عام ١٩١٧ بين اينشتين Einstein أنه الى جانب الإشعاع التلقائى هناك اشعاع آخر من الذرة، يسمى الاشعاع المستحث Stimulated Emission (وهو الانبعاث السائد فى مصادر الليزر). إذا سقط فوتون طاقته $(E_2 - E_1)$ على ذرة مثارة بالفعل ـ وموجودة فى مستوى الاثارة E_2 قبل انتهاء فترة العمر، ـ فإن هذا الفوتون يدفع الذرة إلى أن تشع طاقة إثارتها على شكل فوتون آخر له نفس تردد واتجاه وطور الفوتون الساقط، وتعود



(شكل ١٤ - ٢)

الانبعاث المستحث

الذرة إلى المستوى الأرضى (شكل ١٤-٢).

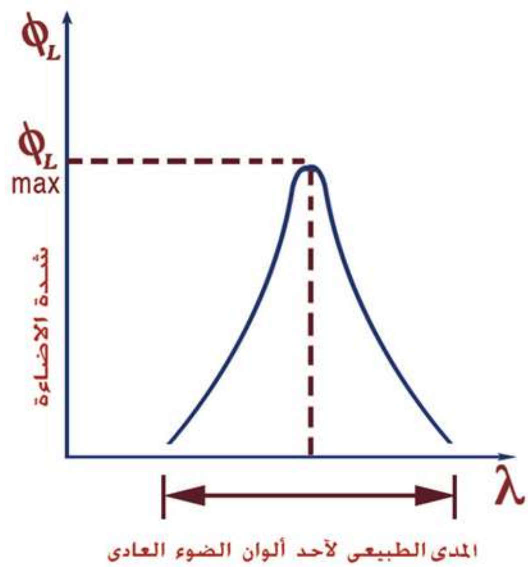
نرى من ذلك انه فى حالة الاشعاع المستحث، يوجد فوتونان. الأصلى والمستحث لهما نفس التردد، ويتحركان معا بنفس الطور وفى نفس الاتجاه.

انطلاق الفوتونات من ذرات المادة بهذه الكيفية يجعلها تتجمع فى حزم متوازية وبصورة مترابطة لمسافات طويلة جدا، وتكون ذات تركيز عال (أى عالية الشدة) على طول مسار الحركة، ولا تعانى من التشتت أو الانتشار الذى تعانيه حزم الفوتونات المنبعثة بطريقة الانبعاث التلقائى.

تبين المقارنة التالية خصائص الانبعاث التلقائى والانبعاث المستحث:

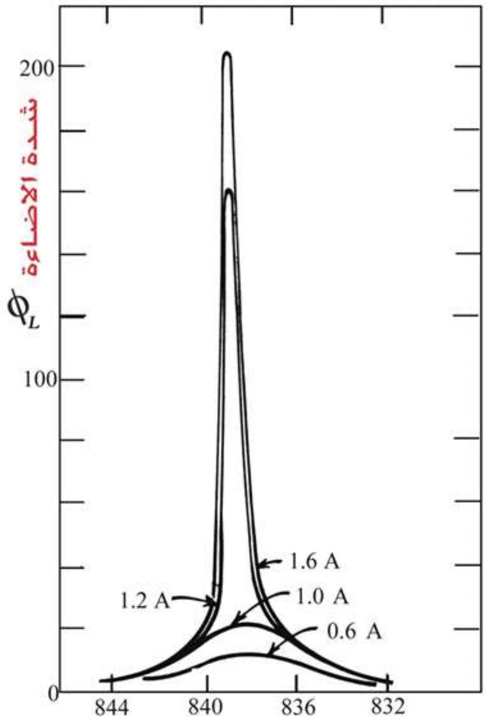
	الانبعاث التلقائى	الانبعاث المستحث
١	يحدث عندما تنتقل الذرات المثارة من مستوى الإثارة إلى مستوى آخر أقل منه فى الطاقة، وتشع الفرق بين طاقتى المستويين فى شكل فوتونات تلقائياً، بدون أى مؤثر خارجى، وذلك بعد انتهاء زمن بقائها Lifetime فى الحالة المثارة.	يحدث عندما تنتقل الذرات المثارة من مستوى الإثارة إلى مستوى آخر أقل منه فى الطاقة، وتشع الفرق بين المستويين على شكل فوتونات، وذلك بتأثير تفاعلها مع فوتونات أخرى خارجية لها نفس طاقة الفوتونات المنطلقة، وذلك قبل انتهاء الفترة الزمنية لبقائها فى حالة الإثارة.
٢	الفوتونات المنبعثة تغطى مدى طيفيا كبيرا من الأطوال الموجية للطيف الكهرومغناطيسى.	للفوتونات المنبعثة جميعا طول موجى واحد فقط Monochromatic
٣	تتحرك الفوتونات بعد انبعاثها بصورة عشوائية تماماً.	تتحرك الفوتونات بعد انطلاقها بنفس الطور Coherent وفى اتجاه واحد، على شكل أشعة متوازية تماما Collimated.
٤	يقل تركيز الفوتونات أثناء الانتشار Spreading، بحيث تتناسب شدة الإشعاع عكسيا مع مربع المسافة التى تتحركها (هذا ما يعرف فى فيزياء البصريات بقانون التربيع العكسى).	تظل شدة الشعاع ثابتة أثناء انتشارها ولمسافات طويلة. ولذا فهى لا تخضع لقانون التربيع العكسى، حتى أنه أمكن إرسال شعاع ليزر إلى سطح القمر واستقباله مرة أخرى على الأرض دون تشتت Scattering أو انتشار Spreading على الرغم من طول المسافة المقطوعة.
٥	يعتبر الانبعاث السائد فى مصادر الضوء العادية.	يعتبر الانبعاث السائد فى مصادر الليزر.

خصائص أشعة الليزر



شكل (١٤-١٣)

المدى الطيفى لاحد الوان الضوء العادى



شكل (١٤-٣ ب)

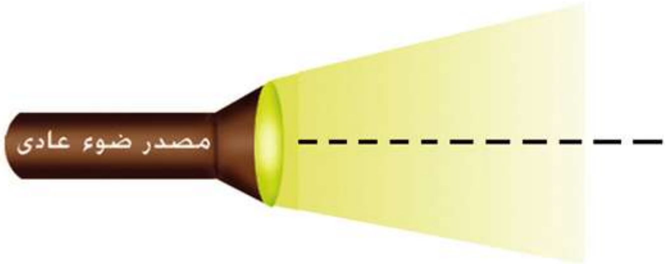
المدى الطيفى لضوء ليزر

١- النقاء الطيفى Monochromaticity:

يحتوى كل خط من خطوط الطيف الضوئى فى مصادر الضوء العادية على مدى كبير من الأطوال الموجية (وإليها يرجع بسبب التعدد فى درجات اللون الواحد عند رؤيته بالعين المجردة) و تتفاوت فى شدتها من طول موجى لآخر كما هو مبين بشكل (١٤ -١٣).

أما مصادر الليزر فهى تنتج خطًا طيفيًا واحدًا فقط، له مدى ضئيل جدا من الأطوال الموجية. وتتركز الشدة عند هذا الطول الموجى المحدد (شكل ١٤-٣ب)، أى أنه يعتبر ضوء أحادى الطول الموجى Monochromatic Light.

٢- توازى الحزمة الضوئية Collimation:



أشعة الضوء العادى تتشتت أثناء انتشارها



أشعة الضوء الليزر تنتشر
فى حزمة متوازية لمسافات طويلة

شكل (١٤-٤أ)

تشتت الضوء العادى وعدم تشتت ضوء الليزر



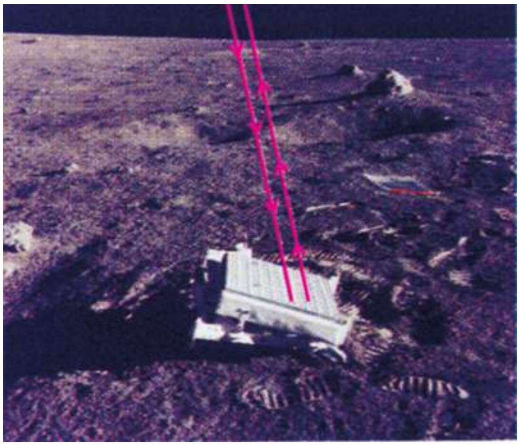
شكل (١٤-٤ب)

إطلاق شعاع ليزر
من الأرض إلى عاكس على سطح القمر
على بعد 380000km من الأرض



شكل (١٤-٤ج)

قياس المسافات الفلكية بشعاع ليزر



شكل (١٤-٤د)

تقدير المسافة بين الأرض و القمر بإستخدام أنعكاس شعاع ليزر على عاكس مثبت على سطح القمر

فى مصادر الضوء العادية يزداد قطر الحزمة الضوئية المنبعثة من المصدر أثناء انتشارها نتيجة التشتت (Scattering) (شكل ١٤ - ٤أ). أما فى شعاع الليزر فإن قطر الحزمة يظل ثابتا أثناء الانتشار لمسافات طويلة، حيث تتحرك الحزم الضوئية بصورة متوازية ولا تعانى من تشتت يذكر ، فتتمكن بذلك من نقل الطاقة الضوئية لمسافات طويلة دون فقد ملحوظ.

٣- الترابط Coherence

تنطلق فوتونات الضوء العادى من مصادرها بصورة عشوائية غير مترابطة Incoherent، حيث تنطلق فى لحظات زمنية مختلفة، وتنتشر باختلاف كبير وغير ثابت فى فرق الطور.

أما فى مصادر الليزر، تنطلق الفوتونات بصورة مترابطة زمانيا ومكانيا، حيث تنطلق من المصدر فى نفس اللحظة، وتحتفظ فيما بينها بفرق طور ثابت أثناء الانتشار لمسافات طويلة. وهذا يجعلها أكثر شدة وأكثر تركيزا (شكل ١٤-٥).

٤- الشدة Intensity

تخضع الأشعة الضوئية المنبعثة من المصادر العادية لقانون التربيع العكسى، حيث تقل

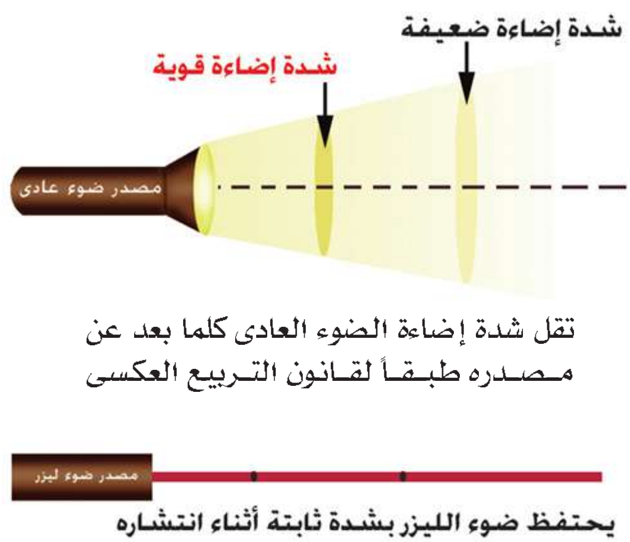
الشـدة الضـوئيـة السـاقطة على وحـدة المسـاحـات من السـطح كلما بعـد هذا السـطح عن مصدر الضوء نتيجة عدم ترابط موجاته طبقاً لقانون التربيع العكسى (شكل ١٤ - ١٤أ) .

أما أشعة الليزر السـاقطة على السطح فهى تحتفظ بشـدة ثابتة لوحدة المساحات ولا تخضع لقانون التربيع العكسى.



شكل (١٤-٥)

الترابط



شكل (١٤-٦)

انخفاض شدة الضوء العادى مع انتشاره ولكنها ثابتة لضوء الليزر

نظرية عمل الليزر

يعتمد الفعل الليزرى Laser Action على الوصول بذرات أو جزيئات الوسط الفعال لإنتاج الليـرز إلى حالة الإسكان المعكوس Population Inversion، وهى الحـالة التى يكون فيـها عـدد الذرات فى مستويات الإثارة العليا أكبر من عددها فى المستويات الأدنى. حتى تتهيأ الفرصة لفوتونات الانبعـاث المستحث أن يتضخم عـددها عند مـرورها ذهابا وإيابا خـلال الوسط الفعال Active Medium، نتيجة الانعكاسات المتتالية بين سطحى مرآتين. فيتم حث ذرات أخرى واقعة على مسار الشعاع، وتتولد فوتونات جـديدة. وهكذا يتضخم الشعاع، وتحدث عملية تكبير الإشعاع بالانبعاث المستحث Stimulated Emission (شكل ١٤ - ٧).

العناصر الأساسية لليزر

تتضمن أجهزة توليد الليزر على اختلاف احجامها وأشكالها وطاقاتها ثلاثة عناصر رئيسة مشتركة هى:

١- الوسط الفـعـال Active Medium: وهو المادة الفعالة لإنتـاج الليـزر، وهو إمـا أن يكون بلورات صلبة Crystalline Solids، مثل الياقوت الصناعى Ruby أو مواد صلبة شبه موصلة Semiconductors، مثل بلورات السيليكون (الفصل الثامن). أو صبغات سـائلة Liquid Dye، مـثل الصـبـغـات العـضـوية المذابة فى الماء، أو ذرات غـازية مـثل خليط غـازى الهليوم والنيون، أو غـازات متـأينة مثل غـاز الأرجون المتأين، أوجـزيئات غازية مثل غاز ثانى اكسيد الكربون.

٢ - مصادر الطاقة Sources of Energy: هى المسئولة عن اكساب ذرات أو أيونات الوسط الفعال الطاقة اللازمة لإثارتها لتوليد الليزر وهى كما يلى:

(أ) الإثارة بالطاقة الكهربية: وتتمثل فى استعمال الطاقة الكهربية المباشرة بأسلوبين: أحدهما اسـتـخدام مـصادر التـرددات الراديوية Radio Frequency Waves (RF)، الثانى اسـتـخدام التـفريغ الكهـربى Electric Discharge بفرق جـهـد عـال مستمر، يستخدم النوع الثانى غـالبا فى أجهزة الليـزر الغـازية، مثل ليزر غاز ثانى أكسيد الكربون وليزر الهليوم والنيون، وليزر الأرجون.

(ب) الإثارة بالطـاقـة الـضـوئيـة: وتعـرف هــذه الطريـقـة باسـم الضـخ الضـوئى Optical Pumping. ويمكن أن تتم بوسيلتين مختلفتين هما:

- المصابيح الوهاجة Flash Lamps ذات القدرة العالية (كما فى ليزر الياقوت).
- شعاع ليزر كمصدر للطاقة (وتستخدم هذه الطريقة فى ليزر الصبغات السائلة).

(جـ) الإثارة بطاقة حرارية، حيث يستخدم التأثير الحرارى الناتج عن الضغط الحركى للغازات فى حث وإثارة المواد التى تبعث أشعة الليزر.

(د) الإثارة بالطاقة الكيميائية، حيث تعطى التفاعلات الكيميائية بين المواد طاقة تؤدى إلى حث جزيئاتها على إنتاج شعاع الليزر. مثال ذلك التفاعلات بين مزيج من الهيدروجين والفلور، أو التفاعلات بين خليط من فلوريد الديوتيريوم وثانى أكسيد الكربون.

٣ - التجويف الرنينى Resonant Cavity:

وهو الوعاء الحاوى والمنشط لعملية التكبير. وهو عادة ما يكون:

(أ) تجويف رنينى خارجى External Resonant Cavity، ويكون على شكل مرآتين متوازيتين يحصران بينهما المادة الفعالة بحيث تكون الانعكاسات المتعددة بينهما هى الأساس فى عملية التكبير الضوئى Amplification كما فى الليزرات الغازية شكل (١٤-٧ أ) .



شكل (١٤-٧ أ)
تجويف رنينى خارجى

(ب) تجويف رنينى داخلى Internal Resonant Cavity حيث يتم طلاء نهايتى المادة الفعالة لتعملا كمرآتين يحصران بينهما المادة الفعالة، كما فى الليزرات الصلبة بصفة عامة مثل ليزر الياقوت (شكل ١٤-٧ب). وتكون إحدى المرآتين شبه منفذة Semitransparent لتسمح بمرور بعض أشعة الليزر المتولدة (شكل ١٤-٨) .

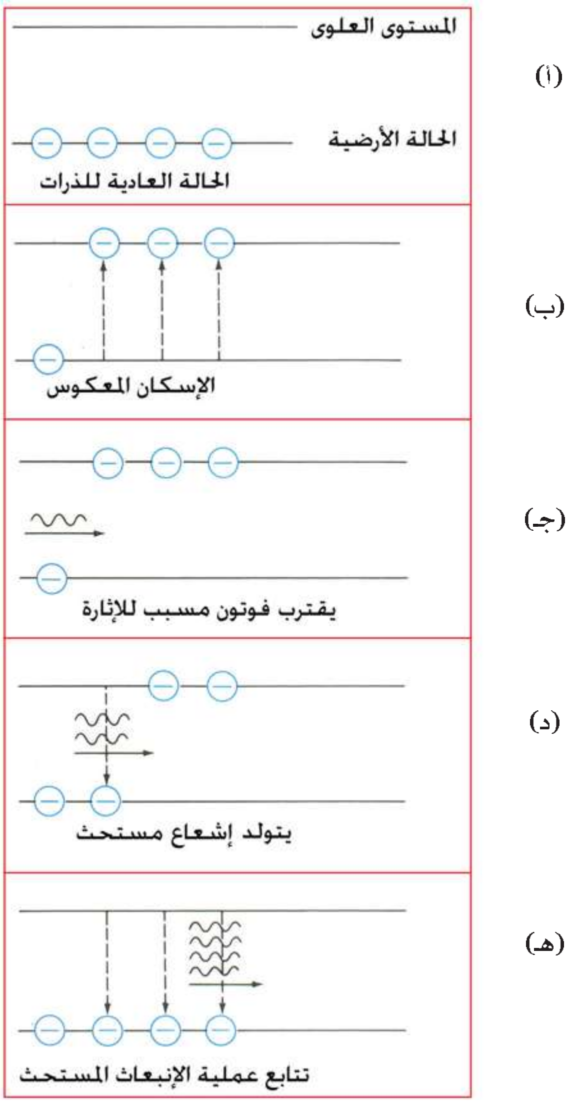


شكل (١٤-٧ ب)
تجويف رنينى داخلى



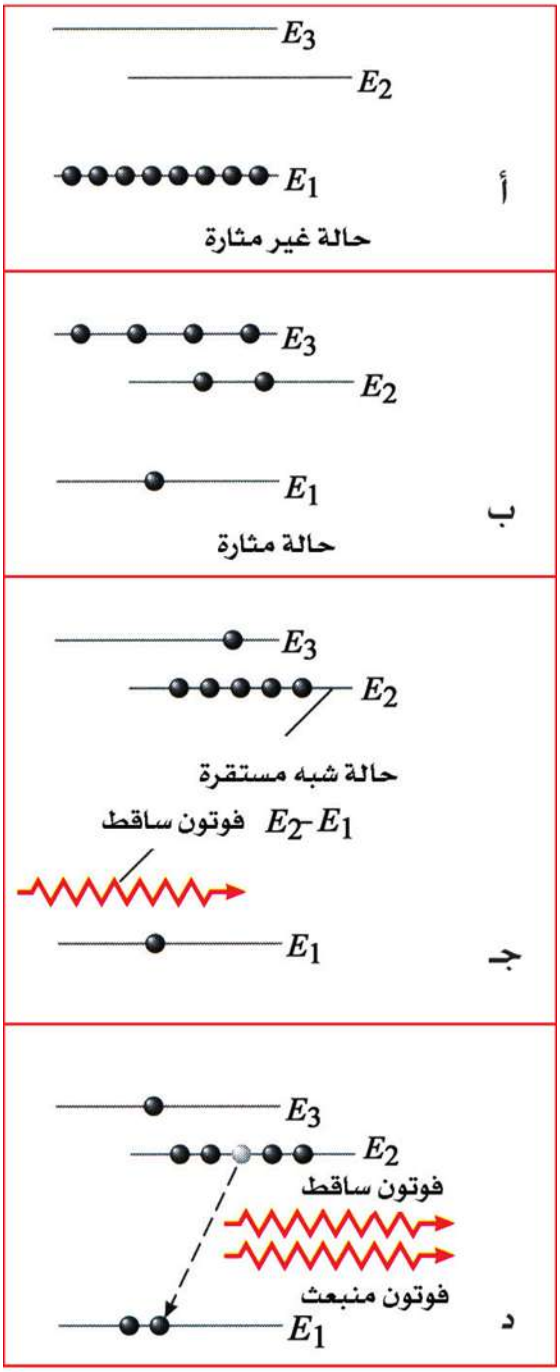
شكل (١٤- ٨أ)

انبعاث مستحدث بفوتون خارجى



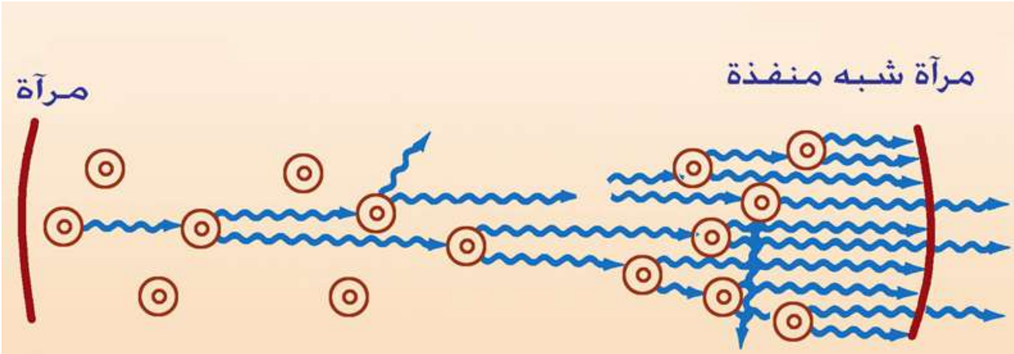
شكل (١٤- ٨ب)

تتابع خطوات الفعل الليزر



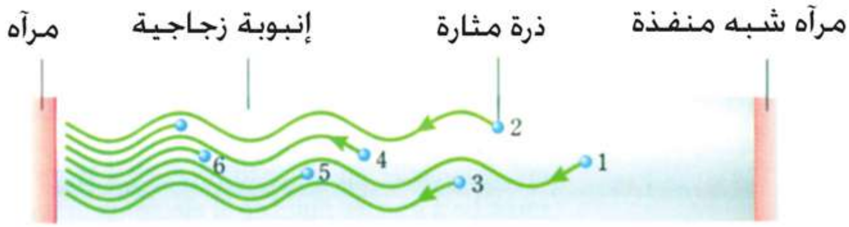
شكل (١٤- ٨جـ)

الإسكان المعكوس عن طريق مستوى ثالث
شبه مستقر



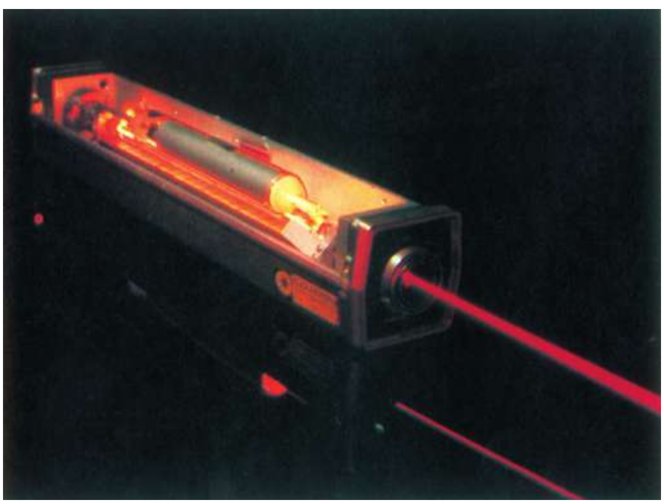
شكل (١٤- ٨د)

الأنعكاس التبادلى بين المرآتين



شكل (١٤- ٨هـ)

تضخيم الإشعاع بالأنعكاسات المتتالية

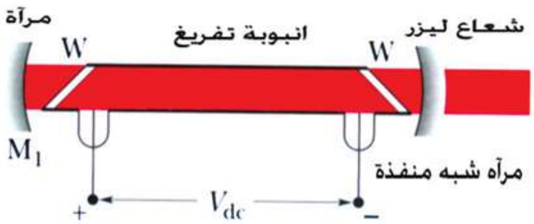


شكل (١٤- ٨و)

الإشعاع الخارج من المرآة شبه المنفذة

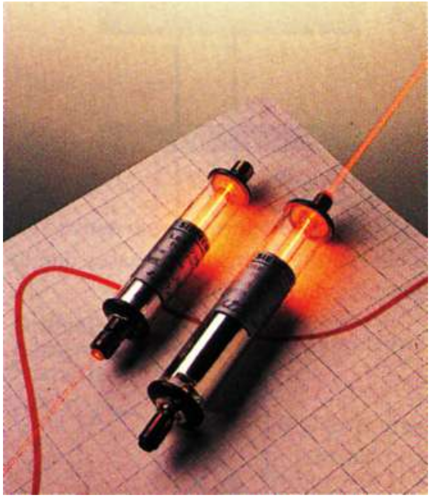
ليزر الهليوم ـ نيون (Helium - Neon Laser)

لقـد تم اخـتـيـار هذين العنصـرين نظرا لتقارب قيم طاقة مستويات الإثارة شبه المستقرة فى كل منهما.



شكل (١٤- ٩ أ)

رسم تخطيطى لجهاز الليزر هليوم - نيون



شكل (١٤- ٩ب)

شكل خارجى لجهاز ليزر الهليوم - نيون

(أ) يتركب جهاز ليزر الهليوم -نيون مما يلى:

١- أنبوبة من زجاج الكوارتز بها خليط من غـاز الهليـوم وغـاز النيـون بنسـبة 1:10 تحت ضغط منخفض حـوالى 0.6 mmHg (شكل ١٤-٩).

٢- يوجد عند نهايتى الإنبوبة مرآتان مستـويتان مـتوازيتـان ومـتعـامـدتـان على مـحـور الأنبـوبة. معامل إنعكاس إحداهما 99.5٪ و الأخرى شبه منفذة ومعامل انعكاسها 98٪.

٣- مـجال كـهـربى عـال الـتـردد يغـذى الأنبـوبة من الخـارج لاثارة ذرات الـهـيلـيـوم والنيـون، أو فـرق جـهـد كـهـربى عـال مـسـتـمـر، يسلط على الـغـاز داخل الأنبوبة لإحداث تفريغ كهربى Electric Discharge

(ب) عمل الجهاز

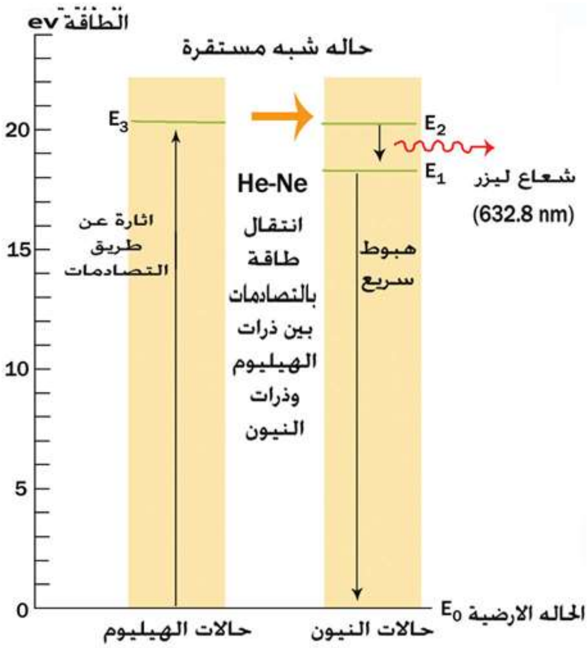
١- يؤدى فرق الجهد الكهربى داخل الأنبوبة إلى إثارة ذرات الهليوم إلى مستويات الطاقة العليا كما بالشكل (١٤- ١٠).

٢- تصطدم ذرات الهليوم المثارة بذرات نيون غير المثارة تصادمًا غير مرن فتنتقل الطاقة من ذرات الهليوم المثارة إلى ذرات النيون نتيجة تقارب قيم طاقة مستويات الإثارة بين الذرتين فتثار ذرات النيون.

٣- يحدث تراكم لذرات النيون المثارة فى مستوى طاقة يتميز بفترة عمر طويلة نسبيا

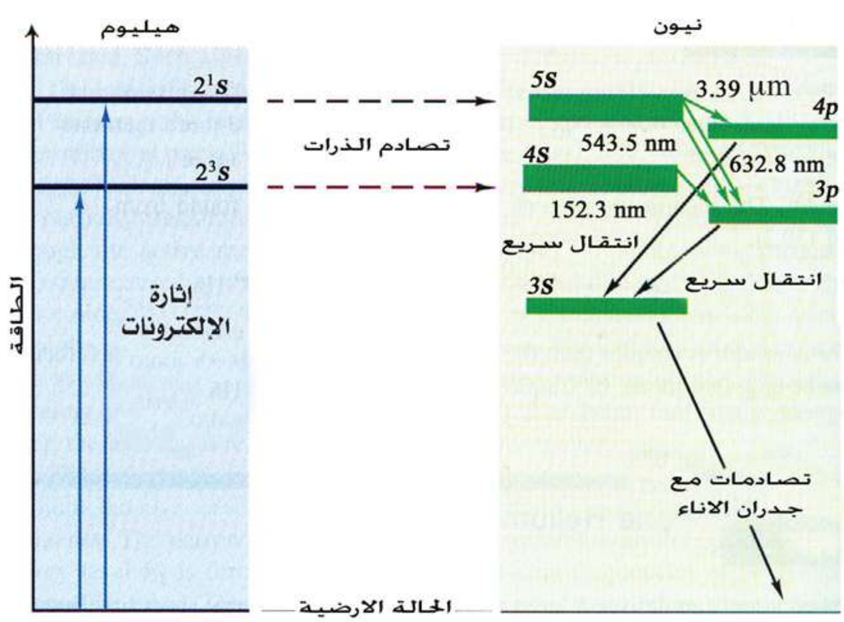
(حــوالى $10^{-3}s$) ، ويســمى هذا المستوى بالمستوى شبه المستقر Metastable State . وبــذلــك يتحقق وضع الإسكان المعكوس Population Inversion فى غــاز النيون.

٤- تهــبط أول مـجـمـوعـة من ذرات النيـون تم إثارتهـا هبوطا تلقائيـا إلى مــســتــوى طاقــة إثارة أقل، وتشع بذلك فـوتونات لهـا طاقـة تعادل الفرق بين طاقتى المستويين وهذه الـفـوتونات تنـتـشـر عـشـوائيـا فى جــمـــيـع الاتجــاهــات داخل الأنبوبة.



شكل (١٤-١٠ أ)

رسم مبسط لمخطط مستويات الطاقة فى ليزر الهليوم - نيون



شكل (١٤-١٠ ب)

الانتقالات الفعلية بين مستويات الطاقة فى ليزر الهليوم - نيون

٥- مجموعة الفوتونات التى تتحرك فى اتجاه محور الأنبوبة تصادف فى طريقها أحد المرآتين العاكستين، فترتد بذلك مرة أخرى داخل الأنبوبة ولا تستطيع الخروج.

٦- أثناء حركة الفوتونات بين المرآتين داخل الأنبوبة، تصطدم ببعض ذرات النيون فى مستوى الإثارة شبه المستقر، والتى لم تنته فترة العمر لها ، فتحثها على إطلاق فوتونات لها نفس طاقة واتجاه الفوتونات المصطدمة بها، فيتضاعف بذلك عدد الفوتونات المتحركة داخل الأنبوبة بين المرآتين.

٧- تتكرر الخطوة السابقة مرة أخرى، ولكن بالعدد الجديد من الفوتونات المتحركة بين المرآتين، فيتضاعف هذا العدد مرة أخرى، وهكذا حتى تتم عملية تضخيم الاشعاع.

٨- عندما تصل شدة الإشعاع داخل الأنبوبة إلى حد معين، يخرج جزء منه من خلال المرآة شبه المنفذة فى صورة شعاع ليزر، ويبقى باقى الإشعاع داخل الأنبوبة، لتستمر عملية الانبعاث المستحث وإنتاج الليزر.

٩- بالنسبة لذرات النيون التى هبطت إلى المستوى الأقل فإنها تفقد بعد فترة وجيزة باقى ما بها من طاقة فى صور أخرى متعددة وتهبط إلى المستوى الأرضى، لتصطدم بها ذرات هليوم أخرى، وتمدها بالطاقة لمستوى الإثارة شبه المستقر، وهكذا.

١٠- بالنسبة لذرات الهليوم التى فقدت طاقتها بالتصادم مع ذرات النيون وعادت إلى المستوى الأرضى، فإنها تعود وتثار مرة أخرى بفعل التفريغ الكهربى داخل الأنبوبة، وهكذا.

تطبيقات على الليزر

يوجد حالياً أنواع وأحجام مختلفة من الليزر ، ويغطى ضوء الليزر مناطق عديدة من الطيف الكهرومغناطيسى بدأ من المنطقة المرئية إلى المنطقة فوق البنفسجية وتحت الحمراء. وبعض أجهزة الليزر يمكن أن تركز الضوء فى نقطة صغيرة كافية لإسالة وتبخير الحديد، ومنها ما يكفى لثقب الماس ، بالمقابل هناك أنواع أخرى من أجهزة الليزر تبعث من الطاقة ما يكفى لتدمير الصواريخ والطائرات، التى قد تستخدم فى ما يسمى حرب النجوم Star War. من أهم التطبيقات الشائعة لشعاع الليزر ما يلى:

أ - الهولوجرافى او التصوير المجسم:

تتكون صور الاجسام بتجميع الاشعة الضوئية التى تترك سطح الجسم المضاء حاملة المعلومات منه إلى حيث تتكون الصورة. تظهر الصورة نتيجة الاختلاف فى الشدة الضوئية لهذه الاشعة من نقطة الى آخرى.

هل الشدة الضوئية هى كل ما تحمله هذه الاشعة من المعلومات عن سطح الجسم؟ لنأخذ شعاعين تركا الجسم المضاء عند نقطتين عليه، هناك اختلاف فى السعه يظهر كإختلاف فى الشدة الضوئية، لأن الشدة الضوئية تتناسب مع مربع السعة، وهناك ايضا اختلاف فى طول المسار من كل من النقطتين على سطح الجسم المضاء الى اللوح الفوتوغرافى الذى يسجل الصورة ، بسبب وجود تضاريس على سطح الجسم. بذلك فإن الاشعة التى تترك الجسم المضاء تحمل ـ بجانب الاختلاف فيما بينها فى الشدة الضوئية ـ اختلافاً فى طول المسار عند وصولها الى اللوح الفوتوغرافى. بتعبير آخر هناك اختلاف فى طور الضوء يساوى ($\frac{2\pi}{\lambda}$ × فرق المسار). يسجل اللوح الفوتوغرافى المعتاد الاختلاف فى الشدة الضوئية فقط، وهو ما يكون الصورة المستوية Plane Image. على ذلك فإن ما نحصل عليه من صور مستوية هو نتيجة جزء فقط من المعلومات التى تحملها موجات الضوء.

فى عام ١٩٤٨ اقترح العالم المجرى جابور Gabor ـ الحاصل على جائزة نوبل ـ طريقة للحصول على ما فقد من المعلومات واستخراجها من الاشعة، باستخدام اشعة أخرى لها نفس الطول الموجى، نسميها الاشعة المرجعية Reference Beam، وهى حزمة من الاشعة المتوازية . تلتقى هذه الاشعة مع الاشعة التى تترك الجسم المضاءحاملة المعلومات، ويتم اللقاء عند اللوح. تحدث نتيجة لذلك ظاهرة التداخل الضوئى بين حزمتى الاشعة. وبعد تحميض اللوح الفوتوغرافى، تظهر هدب التداخل الناتجة وهى صورة مشفرة نسميها الهولوجرام Hologram. بإنارة الهولوجرام بأشعة ليزر لها نفس الطول الموجى وبالنظر خلاله بالعين المجردة، نرى صورة مماثلة تماما للجسم فى أبعاده الثلاثة، دون استخدام عدسات. لا يمكن تحقيق ذلك الا باستخدام مصدر ضوئى فوتونات اشعته مترابطة. وهذا متوفر فقط فى اشعة الليزر.

ب - فى الطب:



شكل (١٤ - ١١)
استخدام الليزر فى علاج الانفصال الشبكى

تحتوى الشبكية Retina على خلايا حساسة للضوء. احيانا تصاب العين بانفصال بعض اجزاء الشبكية . فى هذه الحالة تفقد الاجزاء المصابة بالانفصال وظيفتها. ما لم يتم علاجها بسرعة قد تتعرض العين الى انفصال تام للشبكية وتفقد العين قدرتها على الابصار. وإذا تم تدارك هذه الحالة أول الأمر فإن علاجها يكون عن طريق اجراء عملية تلحم فيها اجزاء الشبكية المنفصلة بالطبقة التى تحتها. وكانت هذه العملية قديما تستغرق وقتا وجهدا كبيرين، إلا ان اشعة الليزر التى تستخدم الآن لهذا الغرض وفرت كلا من الوقت والجهد، فعملية الالتحام شكل (١٤ - ١١) تتم فى اجزاء صغيرة من الثانية، حيث تصوب حزمة رفيعة من أشعة الليزر خلال انسان العين الى الجزء المصاب بالانفصال او التمزق، وتعمل الطاقة الحرارية لاشعة الليزر على اتمام عملية الالتحام. بذلك تتم حماية العين من استمرار انفصال الشبكية من ناحية، وحمايتها من التعرض لفقد القدرة على الابصار من ناحية آخرى. كما يستخدم الليزر فى علاج حالات قصر وطول النظر ، وبذلك يستغنى المريض عن النظارة شكل (١٤ - ١٢).

يمكن استخدام أشعة الليزر مع الألياف الضوئية فى التشخيص والعلاج بواسطة المناظير Endoscopes شكل (١٤ - ١٣) .

حـ - فى الاتصالات حيث تستخدم اشعة الليزر والألياف الضوئية فى الاتصالات كبديل لكابلات التليفونات.

د - فى الصناعة وعلى الأخص الصناعات الدقيقة.

هـ - فى المجالات العسكرية مثل توجيه الصواريخ بدقة عالية Precision Guidance والقنابل الذكية Smart Bombs ورادار الليزر LADAR (Laser Radar).

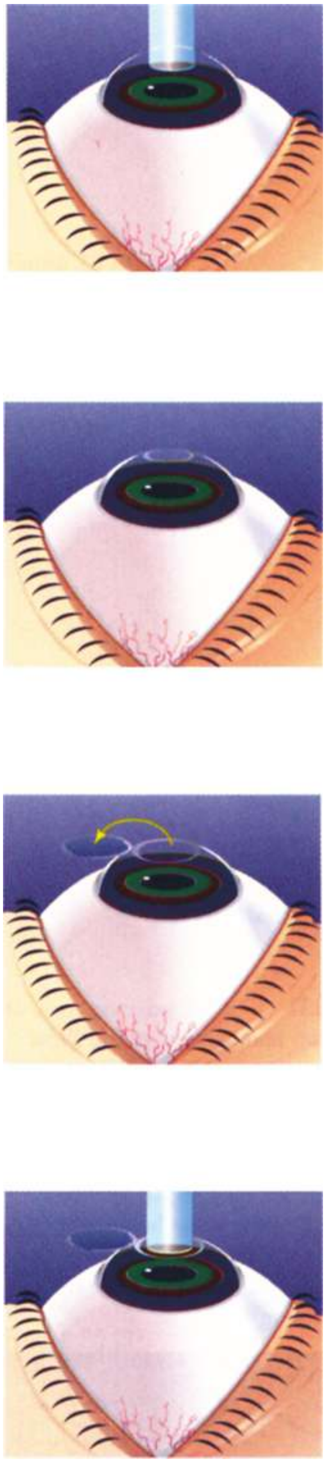
و- التسجيل على الأقراص المدمجة (أقراص الليزر CDs) **شكل (١٤ - ١٤)** .

ز- طابعة الليزر ،حيث يستخدم شعاع ليزر فى نقل المعلومات من الكمبيوتر إلى اسطوانة Drum عليها مادة حساسة للضوء ، ثم يتم الطبع على الورق باستخدام الحبر Toner **شكل (١٤ - ١٥)** .

ح- الفنون والعروض الضوئية **شكل (١٤ - ١٦)**.

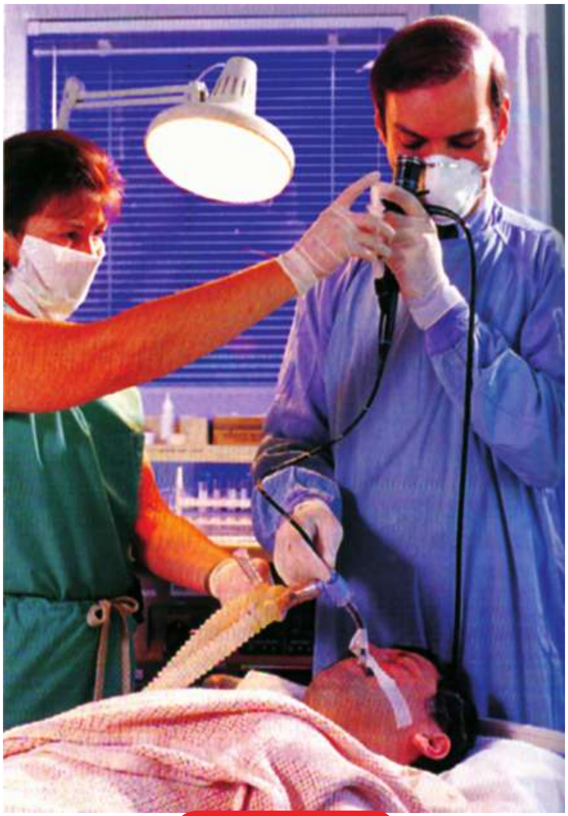
ط- أعمال المساحة Surveying لتحديد المساحات والأبعاد بدقة.

ى- أبحاث الفضاء.



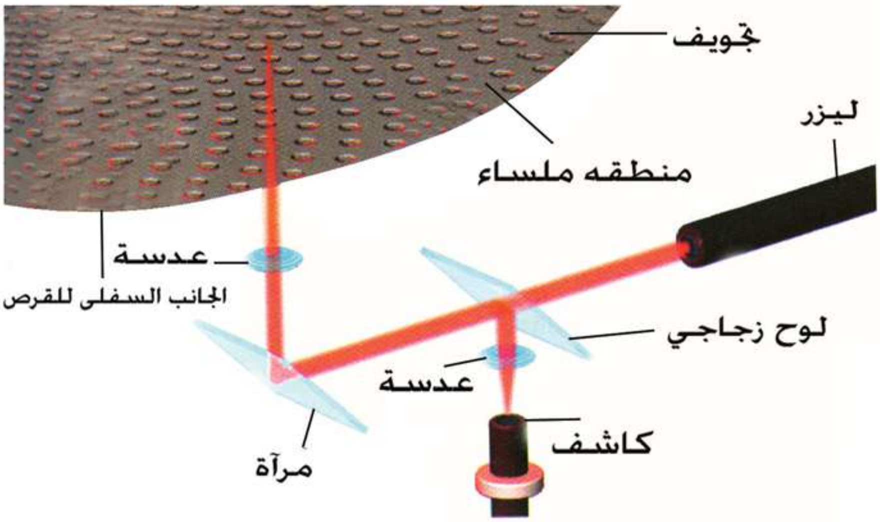
شكل (١٤ - ١٢)

مراحل علاج القرنية بالليزر



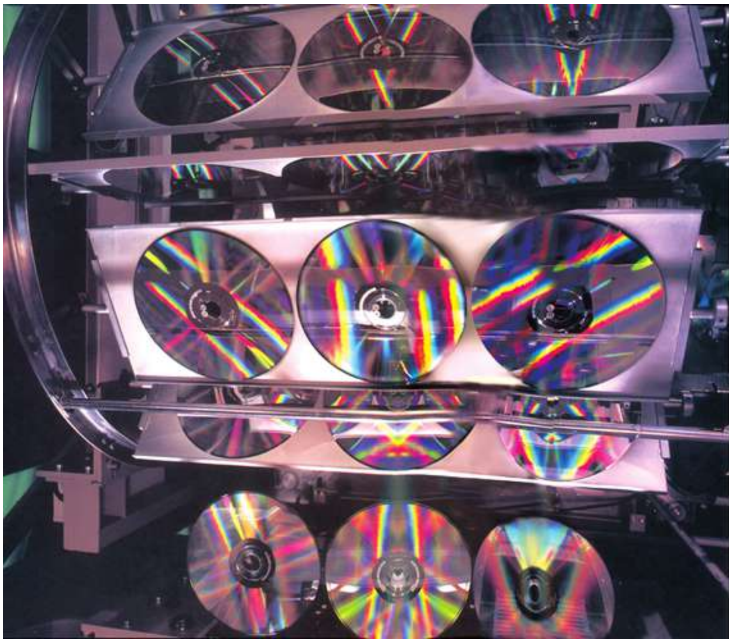
شكل (١٤ - ١٣)

استخدام الليزر فى جراحة المناظير

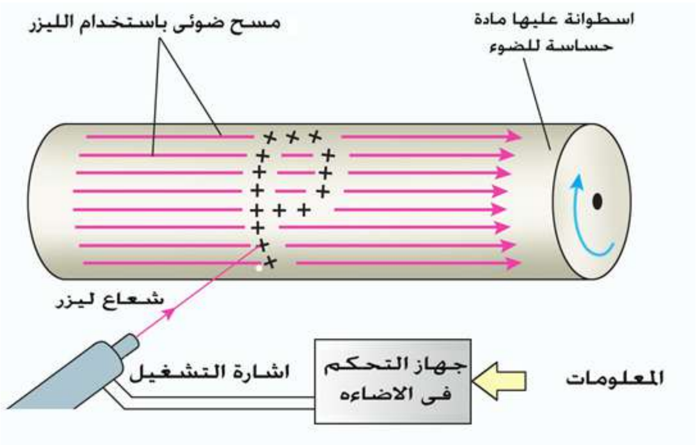


شكل (١٤ - ١٤أ)

استخدام الليزر فى التسجيل على الأقراص المدمجة



شكل (١٤ - ١٤ب)
الأقراص المدمجة (CD)



شكل (١٤ - ١٥)
استخدام الليزر فى آلات الطباعة



شكل (١٤ - ١٦)
عروض الليزر

تلخيـــص

● **الانبعاث التلقائى:**

هو انطلاق اشعاع من الذرة المثارة عند انتقالها من مستوى طاقة أعلى إلى مستوى طاقة أقل بعد انتهاء فترة العمر تلقائياً وبدون تدخل خارجى.

● **الانبعاث المستحث:**

هو انطلاق إشعاع من الذرة المثارة نتيجة اصطدامها بفوتون آخر خارجى له نفس طاقة الفوتون المسبب لإثارتها، لتخرج فى النهاية فوتونات فى حالة ترابط (أى لها نفس الطور والاتجاه والتردد).

● **خصائص شعاع الليزر:**

١- النقاء الطيفى.

٢- توازى الحزمة الضوئية.

٣- ترابط الفوتونات.

٤- شدة وتركيز الإشعاع.

● **نظرية عمل الليزر**

١- الوصول بالوسط الفعال إلى وضع الإسكان المعكوس.

٢- انطلاق الطاقة من الذرات المثارة بالانبعاث المستحث.

٣- تضخيم الإشعاع المنطلق بالانبعاث المستحث داخل التجويف الرنينى.

● **العناصر الأساسية لليزر:**

يتضمن أى جهاز ليزر وجود ثلاثة عناصر أساسية هى :

١- الوسط المادى الفعال

٢- مصدر الطاقة.

٣- التجويف الرنينى.

- **ليزر الهيليوم ـ نيون.**

هو أحـد أنواع الليزرات الغازية. والوسط الفعال فيه عبارة عن خليط من غازى الهيليوم والنيون بنسبة 1:10

- **تطبيقات الليزر**

١- فى مجال التصوير ثلاثى الأبعاد.

٢ - فى مجال الطب مثل علاج الشبكية وعلاج قصر وطول النظر.

٣ـ - فى مجال الاتصالات.

٤ - فى مجال الصناعة.

٥- فى المجالات العسكرية.

٦- التسجيل على الأقراص المدمجة.

٧- الطابعة الليزر.

٨- عروض الليزر والفنون.

٩- أعمال المساحة.

١٠- أبحاث الفضاء.

أسئلة وتمارين

أسئلة المقال

١- ما المقصود بكلمة الليزر؟

٢-قارن بين الإشعاع التلقائى والإشعاع المستحث من حيث الطريقة التى يحدث بها كل منهما وخصائصه

٣- يتميز ضوء الليزر عن الضوء العادى بعدة خصائص. ناقش كلاً من هذه الخصائص بالتفصيل

٤- ناقش بالتفصيل مبدأ عمل الليزر

٥- ما المقصود بكل من: عملية الضخ - وضع الإسكان المعكوس.

٦- ما هو الدور الذى يقوم به التجويف الرنينى فى إنتاج شعاع الليزر؟

٧- تتكون أجهزة الليزر على اختلاف أنواعها من ثلاثة عناصر أساسية. ما هى هذه العناصر؟

٨ - على أى أساس تم اختيار عنصرى الهليوم والنيون كوسط فعال لإنتاج شعاع الليزر؟

٩- ما هو الدور الذى يقوم به عنصر الهليوم فى توليد الليزر فى ليزر الهليوم - نيون؟

١٠- أشرح بالتفصيل كيف تم توليد شعاع الليزر فى جهاز ليزر الهليوم - نيون.

١١- اشرح بالتفصيل كيف تتم عملية التصوير ثلاثى الأبعاد باستخدام الليزر.

١٢- يستخدم الليزر كثيراً فى مجال الطب. ناقش أحد استخداماته فى هذا ا المجال.

١٣ - يلعب الليزر دورا فعالا فى توجيه الصواريخ فى التطبيقات الحربية. على أى أساس يستخدم الليزر فى هذا الغرض؟

مقدمة فى الفيزياء الحديثة

الوحدة الثالثة



الفصل الثامــن : الإلكترونيات الحديثة

الفصل الثامن

الإلكترونيات الحديثة

مقـــدمة:

يشهد العالم تقدما هائلا فى مجال الإلكترونيات والاتصالات، حتى أنها أصبحت السمة المميزة لهذا العصر. فقد أصبحت الإلكترونيات والاتصالات، جزءا لا يتجزأ من حياتنا، فالتليفزيون والتليفون المحمول والكمبيوتر والأقمار الصناعية وغيرها من النظم تعد شاهدا على التقدم الهائل فى استخدامات الإلكترونيات والاتصالات سواء فى نقل المعلومات أو الترفيه أو الثقافة، بل أنها أصبحت أيضا عنصرا أساسيا فى الحرب الحديثة. فلم تعد الأسلحة قوة نيران فقط، وإنما يقوم التوجيه والاستطلاع والرصد والتشويش والخداع بدور حاسم. كذلك فى مجال الطب، سواء فى التشخيص أو المتابعة أو العمليات الجراحية، فإن الإلكترونيات لها دور أساسى. وباختصار لا يوجد مجال واحد من مجالات الحياة إلا وتلعب الإلكترونيات دورا حيويا فيه، بدءا من الألعاب الإلكترونية إلى الحرب الإلكترونية. ومن ثم فلابد من تحصيل قدر مبسط من المعلومات عن الإلكترونيات، مهما كان التخصص المهنى مستقبلا.

أشباه الموصلات النقية:

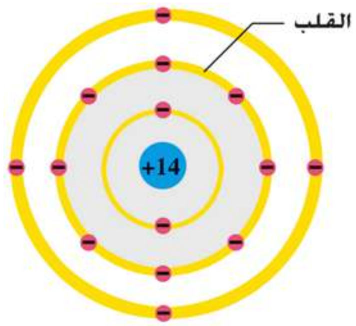
توجد ثلاثة أنواع من المواد من وجهة نظر التوصيلية الكهربية، وهى الموصلات Conductors والعوازل Insulators وأشباه الموصلات Semiconductors.

الموصلات: هى التى توصل الكهربية والحرارة بسهولة (مثل المعادن).

العوازل: التى لا توصل الكهربية والحرارة بسهولة (مثل الخشب والبلاستيك).

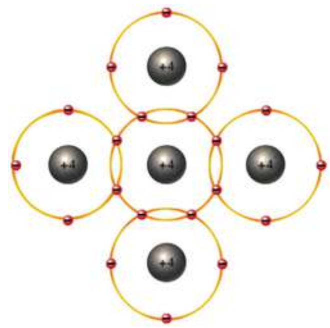
أشباه الموصلات: هى مرحلة متوسطة تتميز بأن التوصيلية تزداد مع درجة الحرارة (ومن أمثلتها السيليكون).

السيليكون من العناصر المهمة فى الكون. فهو يدخل فى تركيب الرمل وصخور القشرة الأرضية. ولكن بلورة السيليكون النقى تتكون من ذرات سيليكون تربطها روابط تساهمية (البلورة هى ترتيب هندسى منتظم للذرات فى الحالة الجامدة). فذرة السيليكون تحتوى على أربعة إلكترونات فى القشرة الخارجية (شكل ١٥ -١)، ولذلك تتشارك كل ذرة سيليكون مع أربعة ذرات من جيرانها، بحيث تكتمل القشرة الخارجية Outer Shell. وبذلك تحتوى القشرة الخارجية لكل ذرة سيليكون على ثمانية إلكترونات بأسلوب التشارك (شكل ١٥-١٢ ، ب). ولابد أن نميز هنا بين نوعين من الكترونات السيليكون. النوع الأول إلكترونات المستويات الداخلية، وهى مرتبطة بشدة Tightly Bound، وترتبط جدا بنواة الذرة. ثم النوع الثانى إلكترونات التكافؤ فى القشرة الخارجية Valence Electrons ولها حرية أكبر فى الحركة عبر المسافات البينية. وفى درجات الحرارة المنخفضة (شكل ١٥-٢جـ) تكون جميع الروابط بين الذرات فى البلورة سليمة ولا توجد فى هذه الحالة إلكترونات حرة على غرار المعدن. إلا أنه بارتفاع درجة الحرارة تنكسر بعض الروابط Bonds فتنطلق بعض الإلكترونات من روابطها وتصبح إلكترونات حرة. ويترك مثل هذا الإلكترون وراءه مكانا فارغا فى الرابطة المكسورة Broken Bond يعبر عنه



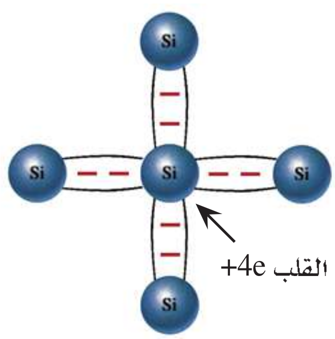
(شكل ١٥ -١١)

ذرة السليكون



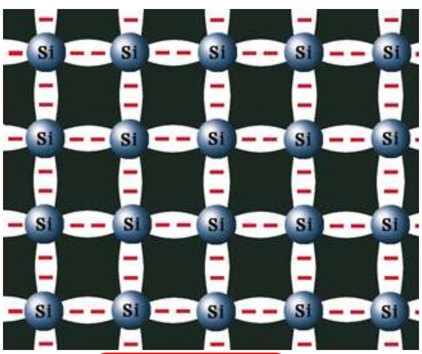
(شكل ١٥ -١٢)

كل ذرة تتشارك مع جيرانها الأربعة



(شكل ١٥ -٢ب)

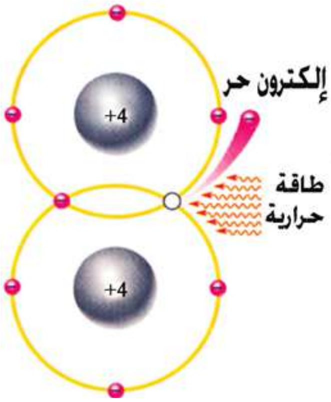
(الرابطة التساهمية) يمكن تمثيل ذرة السليكون (نواة موجبة +14e وإلكترونات سالبة -14e) بقلب شحنته موجبة +4e يحيط به أربعة إلكترونات فى القشرة الخارجية شحنتها سالبة -4e



(شكل ١٥ -٢جـ)

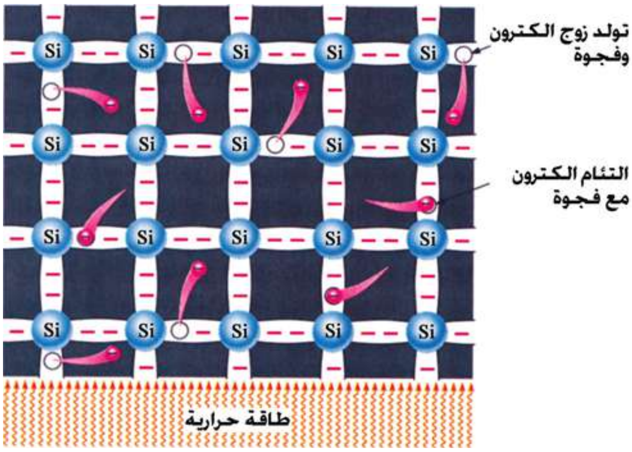
بلورة السليكون فى درجة الصفر المطلق كل الروابط سليمة

بالفجوة Hole التى كان الإلكترون يشغلها (شكل ١٥ -٣). ولأن الذرة متعادلة فإن غياب إلكترون عن الذرة يعنى ظهور شحنة موجبة. ولذلك فإن الفجوة تمثل شحنة موجبة. ويلاحظ أننا لا نسمى الذرة التى كسرت أحد روابطها أيونا لأن الفجوة سرعان ما تقتنص إلكترونا آخر، إما من رابطة مجاورة أو من الإلكترونات الحرة. فتعود الذرة متعادلة كما كانت، وتنتقل الفجوة إلى رابطة أخرى وهكذا.



(شكل ١٥ -٣أ)

كسر الرابطة يحتاج طاقة



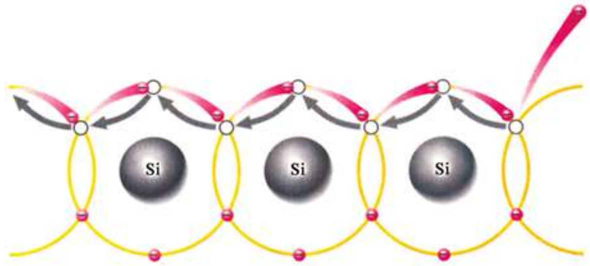
(شكل ١٥ -٣ب)

كلما زادت درجة الحرارة كسرت روابط أكثر

وكلما زادت درجة الحرارة زاد عدد الإلكترونات الحرة وعدد الفجوات، مع مراعاة أن عدد الإلكترونات الحرة يساوى عدد الفجوات فى حالة السيليكون النقى. ولا تظل هذه الزيادة مستمرة حيث تصل البلورة إلى حالة من الاتزان الديناميكى Dynamic Equilibrium تسمى الاتزان الحرارى Thermal Equilibrium، إذ لاتنكسر إلا نسبة ضئيلة من الروابط، وفيها يتساوى عدد الروابط المكسورة فى الثانية مع عدد الروابط التى يتم تكوينها فى الثانية، ليبقى فى النهاية هناك عدد ثابت من الإلكترونات الحرة والفجوات الحرة لكل درجة حرارة.

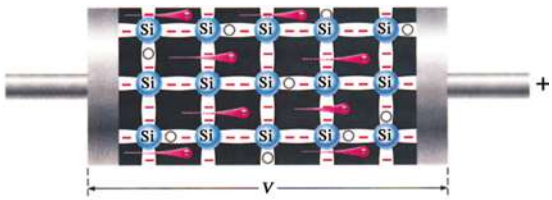
وعلى ذلك فإن الإلكترونات الحرة تمثل النوع الثالث من الإلكترونات التى تتحرك، وهى أيضا مقيدة ولكن فى حيز أكبر هو البلورة ذاتها، ويحدها سطح البلورة. يحتاج كسر الرابطة إلى حد أدنى من الطاقة إما على صورة طاقة حرارية أو ضوئية. وفى حالة التئام الرابطة Recombination تنطلق الطاقة على شكل طاقة حرارية أو ضوئية.

وكما يتحرك الإلكترون حركة عشوائية، تتحرك أيضا الفجوات عشوائياً حيث تتجه حركة الإلكترونات داخل الروابط لملء الفراغات التي تنشأ عن كسر الروابط (شكل ١٥-٤).



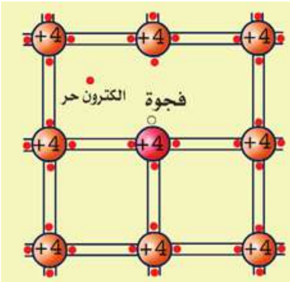
(شكل ١٥ - ٤أ)

تتحرك الفجوات عشوائيا بين الروابط



(شكل ١٥ - ٤ب)

حركة الفجوات تكافىء حركة الإلكترونات داخل روابطها (فى اتجاه عكسى)

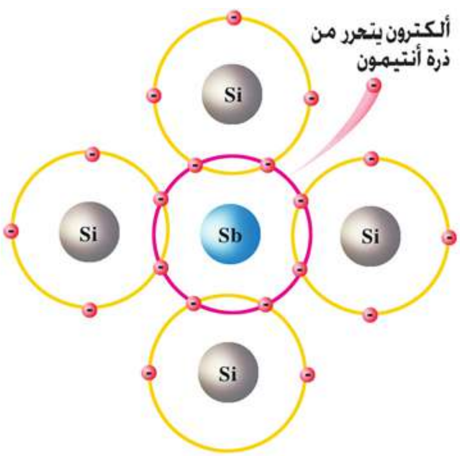


(شكل ١٥ - ٤جـ)

عند درجة حرارة معينة يظل عدد الالكترونات الحرة والفجوات الحرة ثابتا

التطعيم (إضافة الشوائب) Doping:

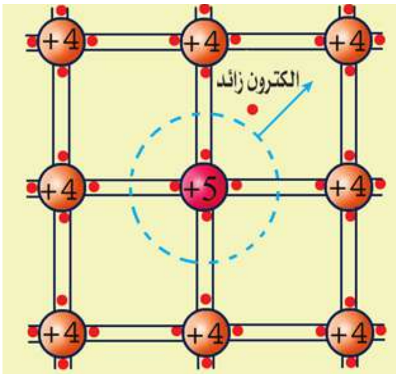
تتميز أشباه الموصلات بحساسيتها الشديدة للشوائب Impurities، كما تتميز بحساسيتها الشديدة للحرارة. وحيث أن السيليكون من المجموعة الرابعة فى الجدول الدورى فإن إضافة عنصر مثل الفوسفور P أو الأنتيمون Sb وغيره من المجموعة الخامسة Pentavalent، من شأنه إحلال الذرة الشائبة مكان ذرة سيليكون (شكل ١٥ - ٥أ). هنا تحاول ذرة الفوسفور أن تقوم بنفس العمل الذى



(شكل ١٥ - ٥ أ)

ذرة أنتيمون (المجموعة الخامسة) تحل محل ذرة سيليكون

كانت تقوم به ذرة السيليكون، من حيث إنشاء الروابط مع الجيران. ولأن الذرة الشائبة تحتوى على خمسة إلكترونات فإن أربعة منها تشترك فى الروابط ويبقى إلكترون واحد خارج هذه الروابط. وتكون قوى الجذب عليه ضعيفة فسرعان ما تفقده الذرة الشائبة نهائيا وتصبح أيونا موجبا، وينضم هذا الإلكترون الحر إلى رصيد البلورة من الإلكترونات الحرة. أى أن البلورة أصبح لها مصدر آخر للإلكترونات الحرة وهو ذرات الشوائب. وتسمى مثل هذه الذرة الشائبة بالذرة المعطية Donor. ويحدث اتزان حرارى حيث يكون مجموع الشحنة الموجبة = مجموع الشحنة السالبة.

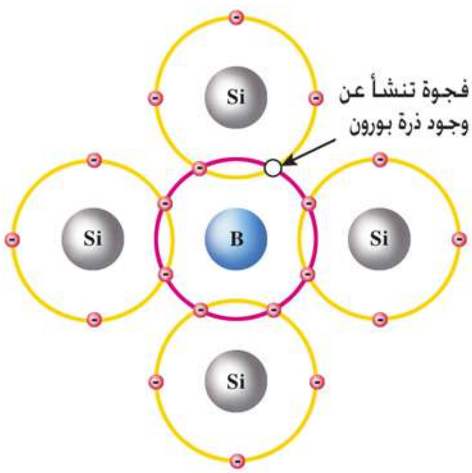


(شكل ١٥ -٥ ب)

التطعيم بشائبة خماسية يوفر إلكترونات حرة للتوصيل. يمكن تمثيل ذرة الشائبة بقلب شحنته موجبة 5e+ يحيط به خمسة إلكترونات أربعة منها فى روابط والإلكترون الزائد يتحرر

$$n = p + N_D \qquad (15 - 1)$$

حيث N_D هو تركيز أيونات الشوائب المعطية و n هو تركيز الإلكترونات الحرة و p هو تركيز الفجوات. ومن ثم يتضح أنه فى هذه الحالة n أكبر من p تصبح هذه المادة من نوع n-type. وبالعكس إذا أضفنا ذرات ألومنيوم Al أو بورون B وغيره (المجموعة الثالثة) بدلا من الفوسفور أو الأنتيمون وغيره (شكل ١٥ - ٦)، هنا تكتسب ذرة الشائبة ذات الإلكترونات الثلاثة إلكترونا من إحدى روابط السيليكون ليصبح عددها أربعة فتظهر فجوة فى رابطة سيليكون. ونتيجة لذلك، تضيف ذرات الشوائب فجوات غير الفجوات التى نشأت بفعل الحرارة. ويتطلب الاتزان الحرارى أن يكون:



(شكل ١٥ -٦)

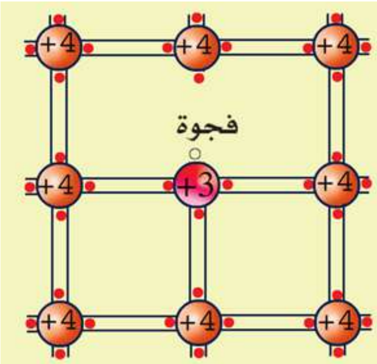
ذرة بورون (المجموعة الثالثة) تحل محل ذرة سيليكون

$$p = N_A + n \qquad (15 - 2)$$

حيث N_A هو تركيز أيونات الشوائب السالبة، أى أن p أكبر n فى هذه الحالة، وتسمى مثل هذه الذرة الذرة المستقبلة Acceptor. وفى جميع الأحوال نجد أن

$$np = n_i^2 \qquad (15 - 3)$$

حيث n_i هو تركيز الإلكترونات أو الفجوات فى حالة السيليكون النقى، أى أنه إذا زادت n تنقص p وبالعكس. ويسمى هذا قانون فعل الكتلة Mass Action Law. ويمكن على سبيل التقريب أن نقول:



(شكل ١٥ -٦ب)

التطعيم بشائبة ثلاثية يوفر فجوات حرة للتوصيل. يمكن تمثيل ذرة الشائبة بقلب شحنته موجبه 3e+ يحيط به ثلاثة إلكترونات ثم تخطف الذرة إلكترونا من ذرة سليكون مكونة فجوة

فى حالة n - type

$$n = N_D \qquad (15 - 4)$$

$$p = n_i^2 / N_D \qquad (15 - 5)$$

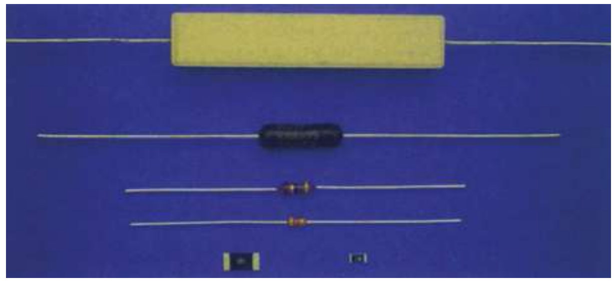
وفى حالة p - type

$$p = N_A \qquad (15 - 6)$$

$$n = n_i^2 / N_A \qquad (15 - 7)$$

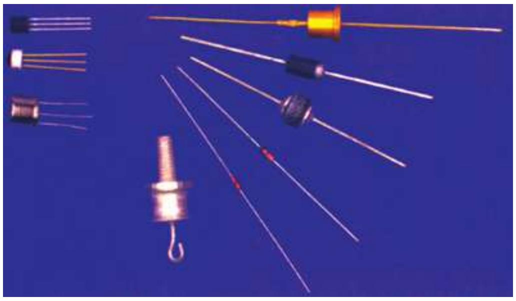
المكونات أو النبائط الإلكترونية Electronic Components and Devices:

المكونات والنبائط Devices هى وحدات البناء التى تبنى عليها كل الأنظمة الإلكترونية (شكل ١٥ -٧) . بعض هذه المكونات بسيطة مثل المقاومة R وملف الحث L والمكثف C. وبعضها أكثر تعقيدا مثل الوصلة الثنائية pn-junction (دايود) والترانزيستور Transistor بأنواعه. كما توجد نبائط أخرى متخصصة (مثل نبائط كهروضوئية ونبائط التحكم فى التيار وغيرها). وتتميز أشباه الموصلات والتى تصنع منها أغلب النبائط بحساسيتها للعوامل المحيطة بها مثل الضوء والحرارة والضغط والتلوث الذرى والكيميائى وغيرها. ولهذا تستخدم كمحسات Sensors أى كوسائل قياس لهذه العوامل. وعن طريقها يمكن قياس شدة الضوء الساقط أو درجة الحرارة أو الضغط أو الرطوبة أو التلوث الكيميائى أو الإشعاع الذرى وغيرها.



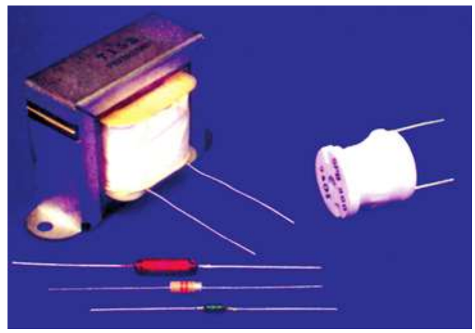
(شكل ١٥ - ٧أ)

مجموعة مقاومات



(شكل ١٥ - ٧ب)

مجموعة من الدايود والترانزستور



(شكل ١٥ - ٧جـ)

مجموعة من ملفات الحث



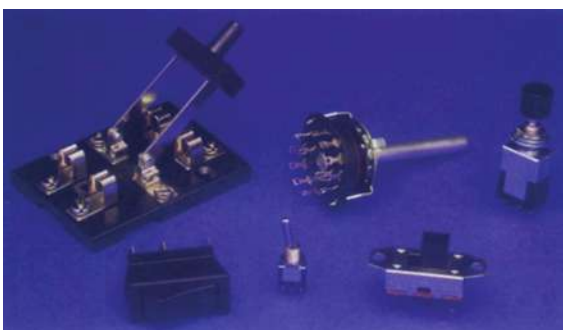
(شكل ١٥ - ٧د)

مجموعة من المكثفات



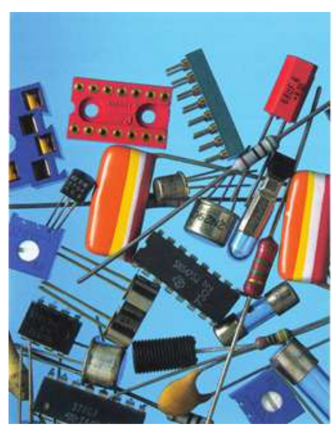
(شكل ١٥ - ٧هـ)

مجموعة من المحولات



(شكل ١٥ - ٧و)

مجموعة من المفاتيح



(شكل ١٥ - ٧ز)

مجموعة مختلفة من النبائط والمكونات الإلكترونية

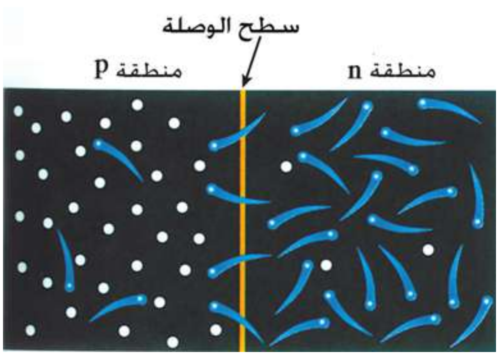
(هل يمكنك التعرف على بعضها؟)

الوصلة الثنائية pn Junction:

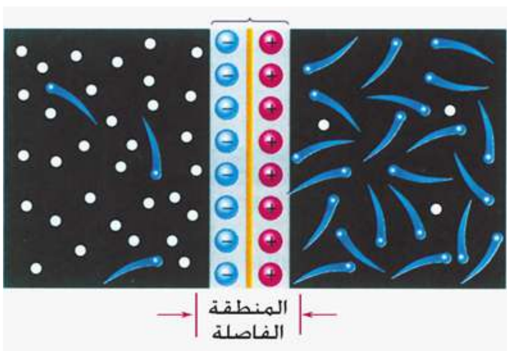


(شكل ١٥ -٨)
الوصلة الثنائية

تتكون الوصلة الثنائيــة pn Junction (شكل ١٥ - ٨) من جـزئيـة أحـدهـا من النوع n-type والآخـر من النوع p-type، فـفى هذه الحالة فإن الفجوات فى p-type - وهى ذات تركيـز عـال - تنتشـر إلى منطقة n-type حـيث أن تركـيـز الفـجـوات بهـا قليل. وكذلك الإلكترونات فى منطقة n-type ذات التركيز العالى تنتشر فى منطقة p-type ذات التركيز المنخفض بالنسبة للإلكترونات. ولذا ينشأ تيار انتشار يدفع الفجوات من منطقة p إلى منطقة n وتيار يدفع الإلكترونات من منطقة n إلى منطقة p . ولما كانت كل منطقة على حدة متعادلة (بسبب تعادل الشحنات الموجبة والشحنات السالبة فى كل منطقة على حدة) فـإن هـجـرة الكتـرونات من منطقـة n-type من شـأنه أن يكشف جـزءا من الأيونات الموجـبة دون غطاء يعادلها من الإلكترونات. وكذلك فإن هجرة فـجـوات من منطقة p-type من شـأنه كـشف جزء من الأيونات السـالبـة دون غطاء يعادلهـا من الفــجــوات وينتج عن ذلك منطقـة خـــاليـــة من الإلكترونات والفجوات تكون بها أيونات موجبة فى ناحـيـة وأيونات سـالبـة فى ناحـيـة أخرى تسـمى المنطـقـة الفــاصلـــة Transition Region .(أو المنطقة القـاحلـة Depletion Region) ينشـأ فى هذه المنطقة مجال كهربى يتجه من الأيونات الموجبة إلى الأيونات السالبة ويتسبب فى دفع تيار (يسمى تيارا انسيابياً Drift Current) فى اتجاه عكس اتجاه تيار الانتشار. وفى حالة الاتزان يتزن التـيار فى الاتجاه الأمامى مع التـيار فى الاتجاه العكسى لتكون المحصلة صفراً (شكل ١٥-٩). فإذا طبـقنا جـهـدا خـارجـيـا بحـيث يكون الطرف p مــتــصـــلا بالطرف الموجب للبطارية (والطرف n مــتــصـــلا بالطرف الســالب للبطارية) فإن المجال النـاشـئ عن الـبـطـارية يكون عكس اتجـــاه

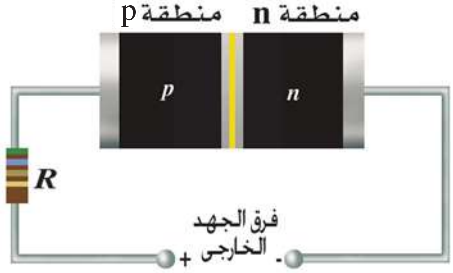


(شكل ١٥ -١٩)
انتقال الإلكترونات من n إلى p
والفجوات من p إلى n

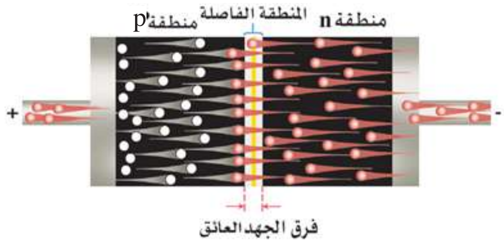


(شكل ١٥ -٩ب)
المنطقة الفاصلة خالية من الالكترونات
والفجوات (أيونات فقط)

المجال الداخلى فى المنطقة الانتقالية فيضعفه. أما إذا عكسنا اتجاه فرق الجهد فإن المجالين يكونان فى نفس الاتجاه. ومعنى ذلك أنه فى الاتجاه الأول (الأمامى Forward) يسمح بمرور تيار. ويكون التوصيل فى هذه الحالة أمامى Forward Connection

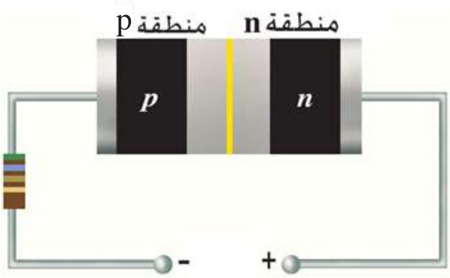


(شكل ١٥ - ١٠أ)
تطبيق فرق جهد خارجى أمامى

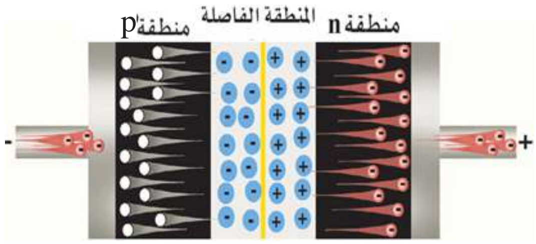


(شكل ١٥- ١٠ب)
حركة الإلكترونات والفجوات نتيجة فرق الجهد الخارجى

حيث يكون p متصلا بالطرف الموجب وn متصلا بالطرف السالب للبطارية (شكل ١٥-١٠) أما التوصيل العكسى Reverse Bias فيكون حيث توصل p بالطرف السالب وn متصلا بالطرف الموجب للبطارية (شكل ١٥-١١). وهكذا فإن الوصلة الثنائية توصل

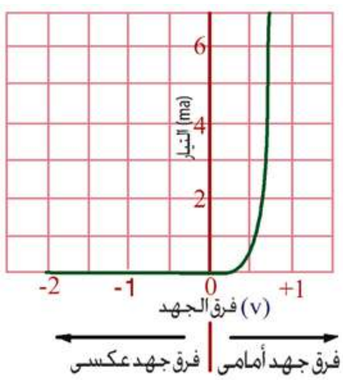


(شكل ١٥ - ١١أ)
التوصيل العكسى فى الوصلة الثنائية



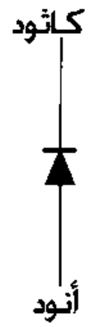
(شكل ١٥ - ١١ب)
حركة الإلكترونات والفجوات فى التوصيل العكسى

التيار بسهولة فى اتجاه وتمنعه تقريباً فى الاتجاه العكسى، (شكل ١٥ -١٢). ويمكن تشبيه عمل الوصلة بمفتاح يكون المفتاح مغلقاً في الاتجاه الأمامى للجهد ومفتوحاً فى الاتجاه العكسى (شكل ١٥-١٣). ومن ثم يمكن التأكد من سلامة الوصلة الثنائية باستخدام أوميتر، إذ يجب أن يعطى مقاومة صغيرة جدا فى اتجاه ومقاومة عالية جدا فى الاتجاه العكسى. وهذا السلوك يختلف تماما عن المقاومة الكهربية التى توصل التيار بنفس القيمة إذا انعكس اتجاه التيارفى حالة إذا ما انعكس فرق



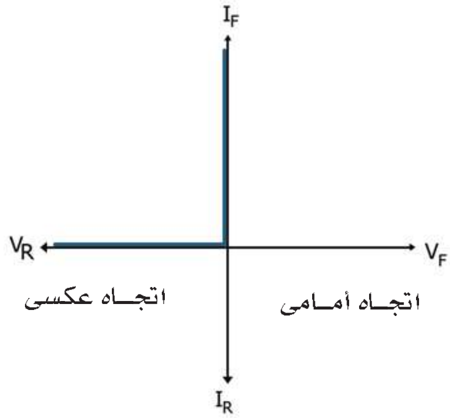
(شكل ١٥ -١٢)
التمثيل البيانى بين فرق الجهد والتيار فى الوصلة

الجهد. للوصلة الثنائية دور مهم فى عملية تقويم التيار المتردد Rectification (أى جعله فى اتجاه واحد) وهو ما يستخدم فى شحن بطاريات السيارة وشحن شاحن التليفون المحمول Mobile وغيره ، حيث تستخدم الوصلة الثنائية - وتسمى عادة دايود Diode - فى تحويل التيار المتردد AC إلى تيار مستمر DC (شكل ١٥ - ١٤).



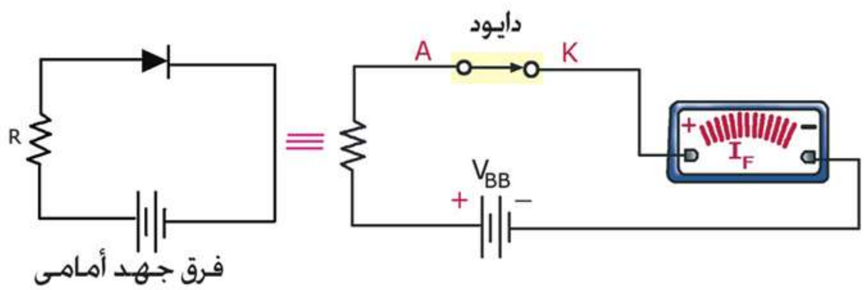
(شكل ١٥- ١٣أ)

رمز الدايود



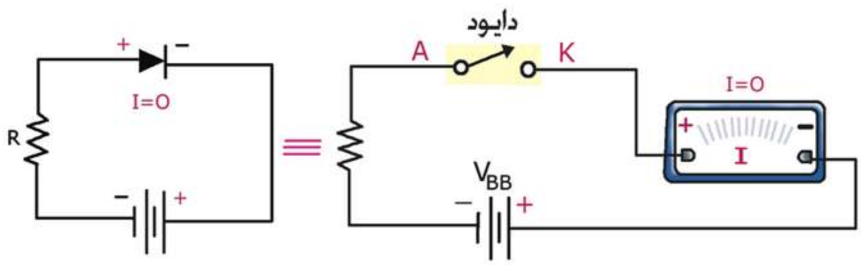
(شكل ١٥- ١٣ب)

علاقة V,I التقريبية



(شكل ١٥ -١٣جـ)

فى الاتجاه الأمامي تمثل الوصلة الثنائية مفتاحا مغلقا (يوصل التيار)



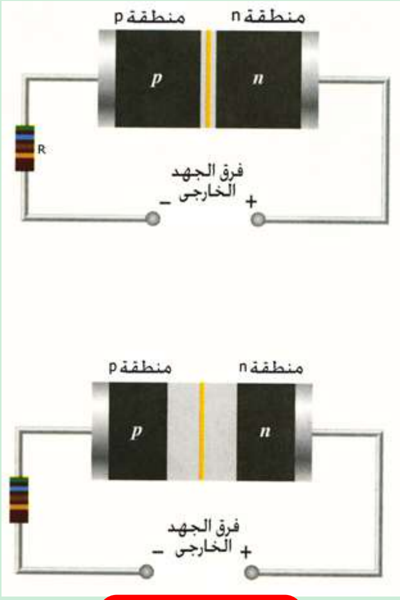
(شكل ١٥ -١٣د)

فى الاتجاه العكسى يمثل الوصلة الثنائية مفتاحا مفتوحا (لا يوصل التيار)

معلومة إثرائية

التوليف الإلكترونى Electronic Tuning

لضبط جهاز الراديو أو التليفزيون على محطة معينة، نحتاج ضبط قيمة مكثف ملف حث لتعطى الدائرة ترددا يساوي تردد المحطة المطلوب الاستماع إليها أو مشاهدتها، وهو ما يسمى بالرنين Resonance، وفى الأجهزة الحديثة يتم تغيير قيمة المكثف باستخدام خاصية الدايود فى حالة وجود جهد عكسى. إذ يزداد عرض المنطقة الفاصلة، كلما زاد الجهد العكسى (شكل ١٥-١٥) حسب هذا الجهد. ولأن زيادة هذا العرض تعنى تزايدا فى الشحنات أى الأيونات، فيشبه هذا التغير فى الشحنة مع فرق الجهد ما يحدث على طرفى المكثف. أي أن الدايود في الاتجاه العكسى يكافىء مكثفاً Capacitor وهكذا يمكن تغيير قيمته حسب فرق الجهد العكسى عليه. وهذا ما يسمى التوليف الإلكترونى.



(شكل ١٥- ١٥)

عرض المنطقة الفاصلة يزداد مع ازدياد فرق الجهد العكسى

الترانزستور Transistor:

تم اكتشاف الترانزستور عام ١٩٥٥ ويرجع الفضل فى ذلك إلى كل من باردين Bardeen وشوكلى Schockley وبراتين Brattain . توجد أنواع مختلفة من الترانزستور. وسنكتفى هنا بالترانزستور من نوع pnp أو npn . ويعنى ذلك أنه يتكون من منطقة p تليها n ثم p أو منطقة n تليها p ثم n (شكل ١٥ - ١٦).

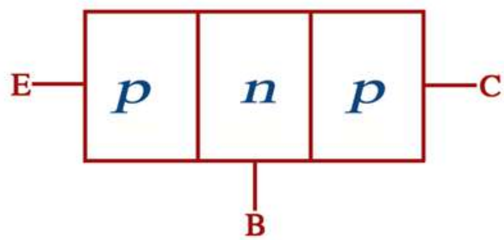


مخترعو الترانزستور
باردين وشوكلى وبراتين (من اليسار)

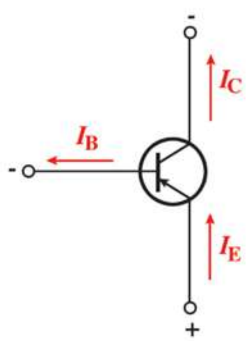
وتسمى المنطقة الأولى الباعث Emitter (E) والأخيرة المجمع Collector (C) والوسطى القاعدة Base (B). وعرض القاعدة صغير للغاية. ولنأخذ مثلا npn . تكون الوصلة الأولى np أمامية التوصيل Forward Biased. أما الوصلة الثانية pn فتكون عكسية التوصيل Reverse Biased. فى هذه الحالة تنطلق الإلكترونات

من الباعث السالب n إلى القاعدة p حيث تنتشر بعض الوقت إلى أن يتلقفها المجمع n موجب. ولكن لأن الإلكترونات تنتشر فى قاعدة مليئة بالفجوات فإن عملية الإلتئام Recombination التى تتم فى القاعدة تستهلك نسبة من هذه الإلكترونات. فإذا كان تيار الإلكترونات المنطلق من الباعث هو I_E فإن ما يصل إلى المجمع I_C هو $I_C = \alpha_e I_E$، وما يستهلك فى القاعدة هو $I_B = (1 - \alpha_e) I_E$. وهذا الجزء لابد أن يعوضه التيار فى سلك القاعدة Base Current. ولذلك فإن نسبة تيار المجمع إلى تيار القاعدة ويسمى β_e هى

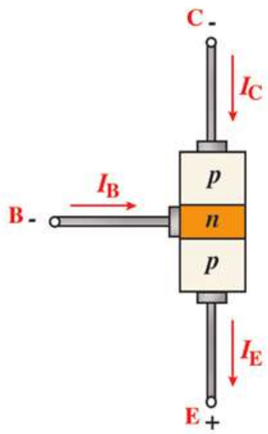
$$\beta_e = \frac{I_C}{I_B} = \frac{\alpha_e I_E}{(1-\alpha_e) I_E} = \frac{\alpha_e}{1-\alpha_e} \qquad (15 - 8)$$



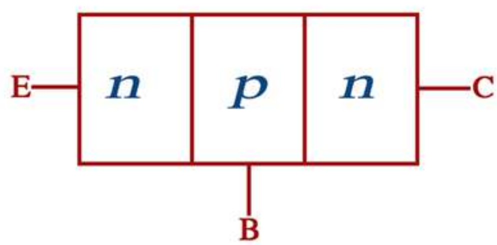
(شكل ١٥- ١٦أ)
ترانزستور pnp



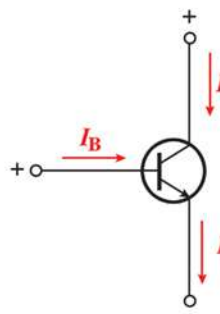
رمز الترانزستور
pnp



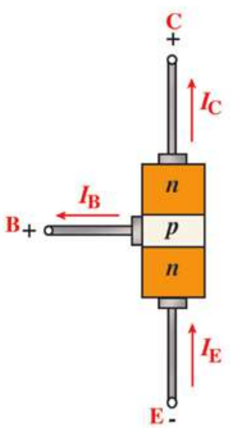
(شكل ١٥- ١٦ب)
الترانزستور pnp



(شكل ١٥- ١٦جـ)
الترانزستور npn

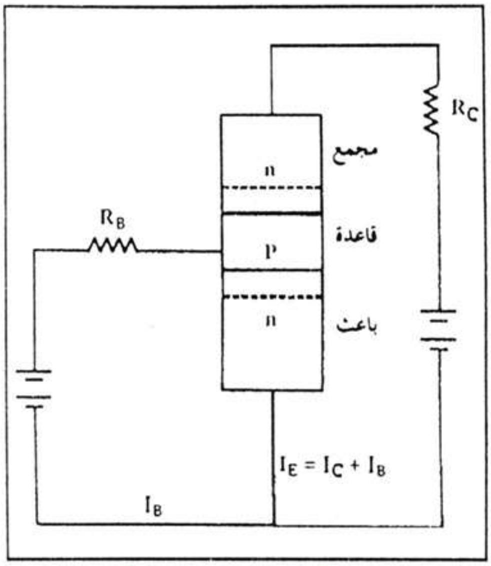


رمز الترانزستور
npn



(شكل ١٥- ١٦د)
الترانزستور npn

ولأن عرض القاعدة صغير جدا فلا تفقد نسبة كبيرة من الفجوات فيها أى أن α_e قريبة من الواحد الصحيح، ولذلك فإن β_e كبيرة جدا. أى أن تيار المجمع أكبر من تيار القاعدة بنسبة β_e وتسمى نسبة تكبير التيار Current Gain. أى انه إذا وضعت إشارة كهربية صغيرة signal (مثلا الخرج من ميكروفون) فى تيار القاعدة فإنه يظهر تأثيرها مكبراً فى تيار المجمع. وهذه هى الفكرة الأساسية فى عمل الترانزستور كمكبر Amplifier (شكل١٥ -١٧أ، ب)، وهذا ما يسمى فعل الترانزستور Transistor Action (شكل ١٥ -١٧).



(شكل ١٥- ١٧)

الترانزستور npn كمكبر

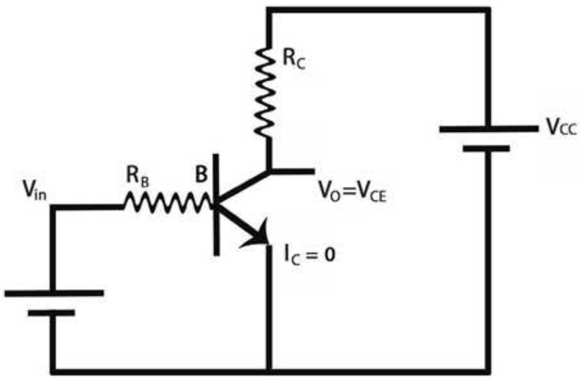
(الباعث مشترك)

الترانزستور كمفتاح Switch:

إذا اعتبرنا دائرة المجمع (شكل ١٥-١٨) فإن

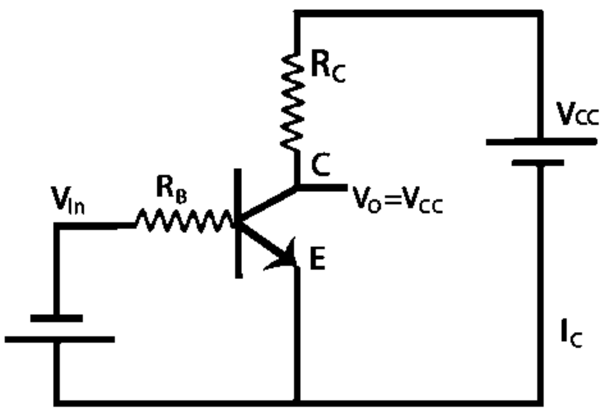
$$V_{CC} = V_{CE} + I_C R_C \qquad (15\text{-}9)$$

حيث V_{CC} جهد البطارية و V_{CE} هو فرق الجهد بين المجمع والباعث و I_C هو تيار المجمع و R_C هى المقاومة الموجودة فى الدائرة. نجد أنه كلما زاد I_C فإن V_{CE} تقل، حتى تصل إلى أقل قيمة لها حوالى 0.2V عندما يكون تيار القاعدة كبيراً. أى أنه إذا اعتبرنا القاعدة هى الدخل Input والمجمع هو الخرج Output والباعث مشترك (متصل بجهد الأرض)، فإن سلوك الترانزستور يكون على النحو التالى: إذا كان الدخل كبيرا فإن الخرج صغير. وإذا كان الدخل صغيرا فإن الخرج كبير وتسمى هذه النبيطة «عاكس» Inverter.



(شكل ١٥- ١٨أ)

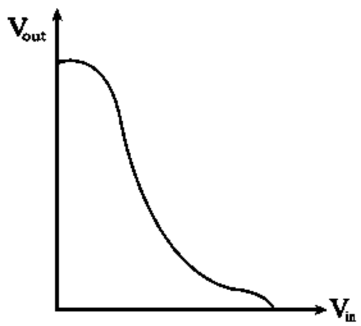
الترانزستور npn كمفتاح فى حالة الفتح On



(شكل ١٥- ١٨ب)

الترانزستور npn كمفتاح فى حالة الإغلاق Off

أى إذا أعطينا جهداً موجباً على القاعدة يسرى تيار فى المجمع بحيث يكون فرق الجهد على المجمع صغيرا . وبالعكس إذا كان فرق الجهد على القاعدة صغيراً أو سالبا ينقطع التيار فى المجمع ويصبح فرق الجهد على المجمع كبيراً، أى يكون الخرج كبيرا. وهكذا يستخدم الترانزستور كمفتاح Switch يوصل التيار أو لا يوصل التيار (شكل ٥ - ١٨).



(شكل ١٥- ١٨جـ)

خصائص العاكس

ويمكن الاستدلال على قطبية الترانزستور باستخدام أوميتر (كيف؟).

الإلكترونيات الرقمية Digital Electronics :

جميع الأجهزة الإلكترونية تتعامل مع الكميات الطبيعية وتحولها إلى إشارات كهربية. فمثلا الميكروفون يحول الصوت إلى إشارة كهربية. وكاميرا الفيديو تحول الصورة إلى إشارة كهربية. وكذلك فى التليفزيون تتحول الصورة والصوت إلى إشارة كهربية ثم إلى إشارة كهرومغناطيسية فى الإرسال، ثم تنتشر الموجة الكهرومغناطيسية. وعند الطرف المستقبل يتم تحويل الإشارة الكهرومغناطيسية إلى إشارة كهربية فى الهوائى (الإيريال) ثم إلى صوت وصورة فى جهاز الاستقبال. الإلكترونيات التى تتعامل مع الكميات الطبيعية كما هى تسمى إلكترونيات تناظرية Analog Electronics. ولكن ظهر نوع حديث من الإلكترونيات يسمى الإلكترونيات الرقمية Digital Electronics.

فى هذه الحالة فإن الإشارة الكهربية لا ترسل متصلة (أى تأخذ أى قيمة حسب حالتها) ولكنها تحول إلى شفرة Code أساسها قيمتان فقط هما 0 و 1 . مثلا إذا أردنا أن نعبر عن قيمة 3 نكتبها 11_2 حيث رقم 2 يرمز إلى النظام الثنائى (وليست هذه أحد عشر) ولكنها

$$3= 1 \times 2^0 + 1 \times 2^1$$

كما نكتب 17 مثلا فى النظام العشرى

$$17 = 7 \times 10^0 + 1 \times 10^1$$

كذلك نكتب أى عدد فى النظام الثنائى Binary فى خانات تقابل الآحاد و العشرات ولكنها تكون خانة 2^0 وخانة 2^1 وخانة 2^2... الخ. وهكذا يتم تشفير Coding كل عدد وكل حرف. ويتم تحويل كل الإشارات الكهربية المتصلة إلى إشارات رقمية عن طريق جهاز يسمى محول تناظرى رقمى Analog to Digital Converter. وفى الطرف المستقبل يتم التحويل العكسى من إشارة رقمية إلى إشارة تناظرية عن طريق محول رقمى تناظرى Digital to Analog Converter . ما الحكمة فى ذلك؟ توجد فى الطبيعة إشارات كهربية غير منتظمة وغير مفيدة تسمى الضوضاء الكهربية Electrical Noise مصدرها الحركة العشوائية للإلكترونات. فالإلكترونات شحنات إذا تحركت فإنها تسبب تيارا عشوائيا. هذه الإشارات العشوائية تسبب تداخلا فى الإشارات التى تحمل المعلومات وتشوشها. وكلنا نلاحظ ذلك مثلا فى محطة إذاعة ضعيفة أو فى محطة تليفزيون ضعيفة أو هوائى (إيريال) ضعيف، فتظهر نقاط بيضاء وسوداء على الشاشة. والضوضاء تضاف دائما إلى الإشارات التى تحمل المعلومات ويصعب التخلص منها. أما فى حالة الإلكترونيات الرقمية فإن المعلومة ليست فى قيمة الإشارة (التى قد تضاف الضوضاء إليها وتشوهها) ولكن المعلومة تكمن فى الشفرة أو الكود، هل لدينا 0 أو 1 ؟ ولا يهم إن كانت قيمة الجهد المخصص للحالة 0 أو الحالة 1 مضاف عليها ضوضاء. هذه هى الميزة الكبيرة للإلكترونيات الرقمية . ولذلك دخلت حياتنا فى العصر

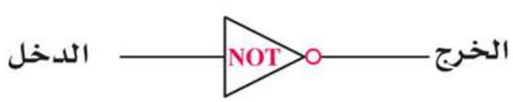
الحديث على نطاق واسع مثل التليفون المحمول والقنوات الفضائية الرقمية وأقراص الليزر المدمجة CD. ومما زاد من أهميتها اختراع الكمبيوتر المبنى على الإلكترونيات الرقمية . فكل ما يدخل إلى الكمبيوتر سواء أعداد أو حروف يتحول إلى شفرات ثنائية Binary Code . كذلك تجزأ الصور إلى عناصر صغيرة تسمى Pixels وتحول أيضا إلى شفرة. ويقوم الكمبيوتر بجميع العمليات الحسابية باستخدام الجبر الثنائى Boolean (Binary) Algebra. كما يقوم بتخزين المعلومات فى الذاكرة المؤقتة RAM أو الذاكرة المستديمة مثل القرص الصلب Hard Disk على شكل مغنطة فى اتجاه معين مما يعنى 0 و المغنطة فى اتجاه مضاد مما يعنى 1

البوابات المنطقية Logic Gates:

تعتمد كثير من التطبيقات الحديثة للإلكترونيات مثل دوائر الحاسب ووسائل الاتصالات الحديثة على عناصر رقمية من دوائر إلكترونية يطلق عليها البوابات المنطقية Logic Gates، وهى الدوائر التى تستطيع أن تقوم بعمليات منطقية مثل العكس أو التوافق أو الاختيار، وهى مبنية على الجبر الثنائى ـ أساس الإلكترونيات الرقمية ـ وأهمها:

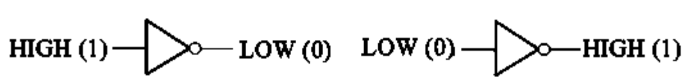
١- بوابة العاكس Inverter (NOT) لها مدخل واحد ومخرج واحد ويمكن تمثيل عملها كما فى شكل (١٥-١٩).

input الدخل	output الخرج
1	0
0	1



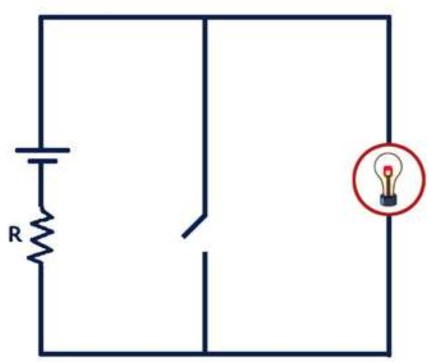
(شكل ١٥- ١٩أ)

رمز بوابة العاكس Not



(شكل ١٥- ١٩ب)

حالات بوابة العاكس



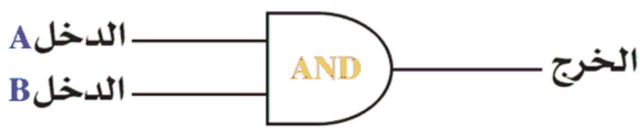
(شكل ١٥- ١٩جـ)

الرسم المكافىء لبوابة العاكس عند غلق المفتاح لا يضاء المصباح

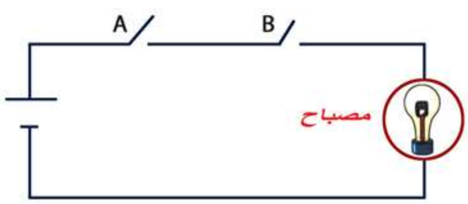
٢- بوابة التوافق AND: لها مدخلان أو أكثر ومخرج واحد ويمكن تمثيل عملها فى شكل (١٥-٢).

intout الدخل	output الخرج
00	0
01	0
10	0
11	1

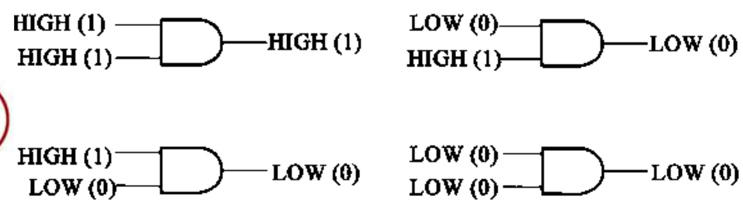
أى لا يكون هناك خرج إلا إذا اتفق الدخلان على نفس قيمة 1 ، أى لابد من توافر شرطين (أو أكثر) معا ليكون هناك خرج 1 ، ويمكن تمثيلها بمفتاحين على التوالى لابد من غلقهما معا ليمر تيار ويضىء المصباح.



(شكل ١٥- ٢٠أ)
رمز بوابة التوافق AND



(شكل ١٥- ٢٠جـ)
الرسم المكافىء لبوابة التوافق AND حيث لا يضىء المصباح إلا إذا أغلق المفتاحان معا



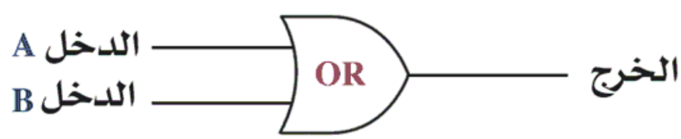
(شكل ١٥- ٢٠ب)
حالات بوابة التوافق

٣- بوابة الاختيار OR: لها مدخلان أو أكثر ومخرج واحدويمكن تمثيل عملها كما فى شكل (١٥-٢١)

intput الدخل	output الخرج
0	0
01	1
10	1
11	1

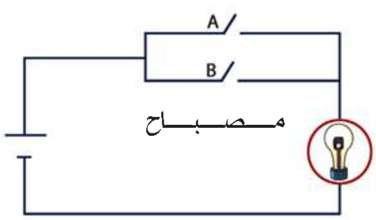
أى يلزم توافر أحد دخلين ليكون الخرج 1 ويمكن تمثيلها بمفتاحين على التوازى يكفى غلق أيهما ليمر تيار.

جميع العمليات التى يقوم بها الكمبيوتر مبنية على استخدام هذه البوابات وغيرها.



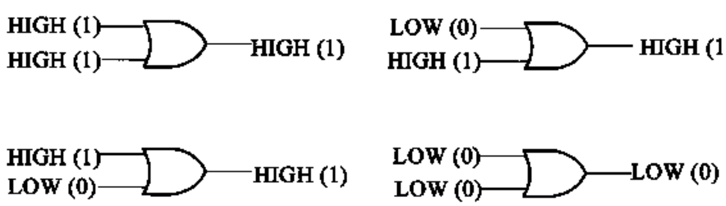
(شكل ١٥- ٢١أ)

رمز بوابة الاختيار OR



(شكل ١٥- ٢١جـ)

الرسم المكافىء لبوابة الاختيار OR حيث يضىء المصباح إذا أغلق أى من المفتاحين

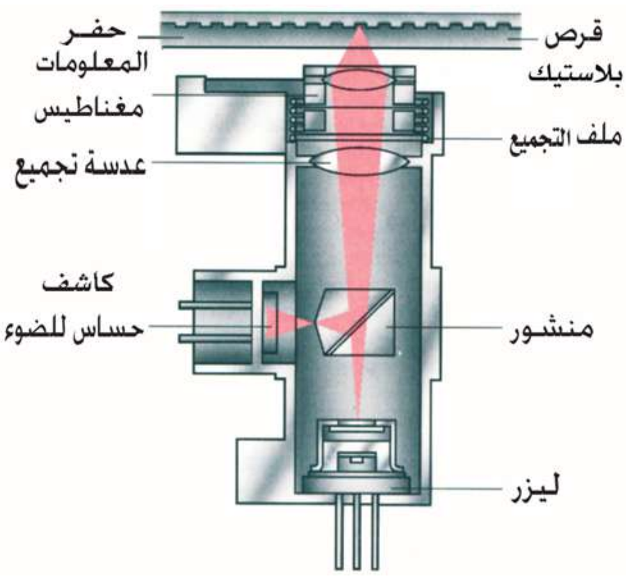


(شكل ١٥- ٢١ب)

حالات بوابة الاختيار OR

ويمكن تنفيذ هذه البوابات باستخدام الترانزستور. فى هذه الحالة فإن الترانزستور لا ينظر إليه على أنه مكبر Amplifier بل على أنه مفتاح Switch . وهكذا يمكن أن نوظف الترانزستور على أنه عاكس Inverter (NOT Gate) أو أنه دائرة توافقية And Gate إذا

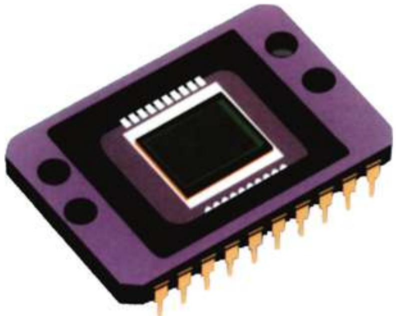
كـان له أكـثـر من باعث، بحـيث لا يوصل تيــارا إلا إذا كــان كل باعث عليه جـهد مـوجب (أى 1). كـذلك يمكن تـصور الـترانزسـتـور على أنه بوابة اخـتـيـار OR Gate إذا كـان لدينا زوج من الـتــرانزســتــور على التـــوازى مـــثـــلا، بحـيث يكفى أن يوصل أحـدهما التيار اذا توافر 1 على أى من الـدخلين فـــــيكون الخـرج1. كـذلك يمكن اسـتـخـدام الترانزستور فى صنع دوائر الذاكرة حـيث يتم الاحـتـفـاظ بالرقم 0 أو الرقم 1 إلى أن يزول التيار فى حالة الذاكرة المؤقتة RAM فيزول ماتم تخزينه . وإذا أردنا الاحتـفاظ بالبيانات Data فتخزن على القرص الصلب Hard Disk ولا يتم محوها منه إلا بتعليمات من المستخدم. كذلك يتم الاحتفاظ بالمعلومات بصفة دائمة باستخدام الأقراص المدمجة CD، حيث يتم تسجيل الشفرات برموز 0 و1 بواسطة شعاع ليزر يحفر حفرة فى قرص بلاستيك ليرمز إلى 1 وعـدم وجود حـفـرة يعنى 0. وتسـمى هذه العـملية الكتـابة Write . ولاسـتـرجـاع المعلومات (أغنية أو فيلم) Read فإن قارئة الليزر CD Drive تقرأ مـا سبق تسـجيله بواسطة شعاع ليزر يستدل على 0 أو 1 التى تم تسجيلها من قبل (شكل ١٥-١٢٢). ولا تختلف فكرة DVD عن CD إلا بزيادة القـدرة على التـخـزين . وقـد ظهـرت كـامـيـرات تصور بالنظام الرقمى، حيث تتحول الصور إلى إشارات رقمية يتم تداولها وإرسالها قطعة قطعة Pixel by Pixel، فيتم تسجيلها على شريط صغير ممغنط ثم يتم تحميلها على الكمـبيـوتر (شكل ١٥- ٢٣). وهذه الكاميـرات تسـتـخـدم وسـيلة حـديثـة لتـخـزين ونقل الشـحنات الكهربية تسـمى CCD حـتى يكون وزنها خـفـيـفـا، وهى أسـاس كـامـيـرات ومسجلات الفيديو المحمولة Camcorder وكذلك آلات الفاكس Fax وآلات التصوير فى التليفون المحمول الحديث والذى يمكنه نقل الصور عبر الإنترنت باستخدام خاصية بلوتوث Bluetooth.



(شكل ١٥- ١٢٢)
رسم تخطيطى لقارئة الليزر



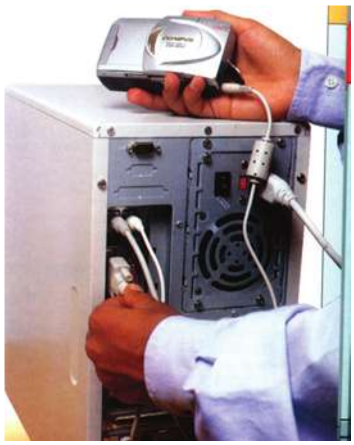
(شكل ١٥- ٢٢ب)
الكاميرا الرقمية



(شكل ١٥- ٢٣جـ)
عنصر CCD



(شكل ١٥- ٢٣د)
تخزين البيانات على شريط ممغنط فى الكاميرا الرقمية

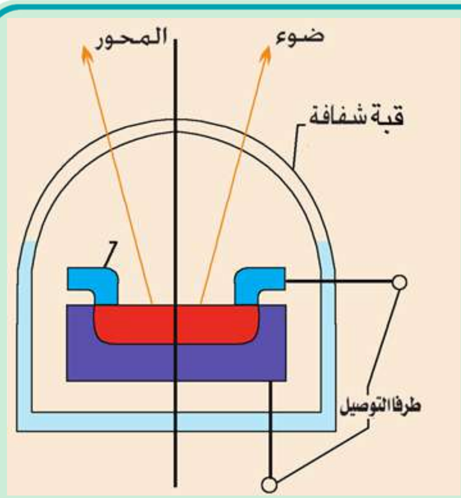


(شكل ١٥- ٢٣هـ)
التحميل على الكمبيوتر

معلومة إثرائية

الدايود الباعث للضوء LED

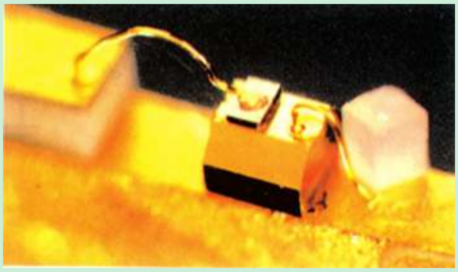
عندما يمر تيار فى وصلة ثنائية فإن الفجوات أو الإلكترونات التى تعبر إلى الجانب الآخر بفعل فرق الجهد الخارجى مصيرها إلى الزوال عن طريق عملية الالتئام Recombination. هذه العملية يصاحبها خروج ضوء علي هيئة فوتونات. ولذلك يمكن صنع مصباح من وصلة ثنائية تسمى الدايود الباعث للضوء



(شكل ١٥- ٢٣أ)
الدايود الضوئى LED

Light Emitting Diode (LED) (شكل ١٥-٢٣ أ) ، ويستخدم في لوحات الإعلان والساعات وأجهزة القياس، كذلك يمكن تجميع هذا الضوء بتركيز معين وتحقيق شـرط فعل الليـزر Laser Action فـيـه، فنحـصـل على ليــزر وصلـة ثنائيـة Junction Laser (شكـل ١٥-٢٣ب).

ويستخدم فى العمليات الجراحية والاتصالات باستخدام والألياف الضوئية Frberoptics وفى العمليات العسكرية مثل توجيه الصواريخ والرادار.



(شكل ١٥- ٢٣ب)

ليزر الوصلة الثنائية

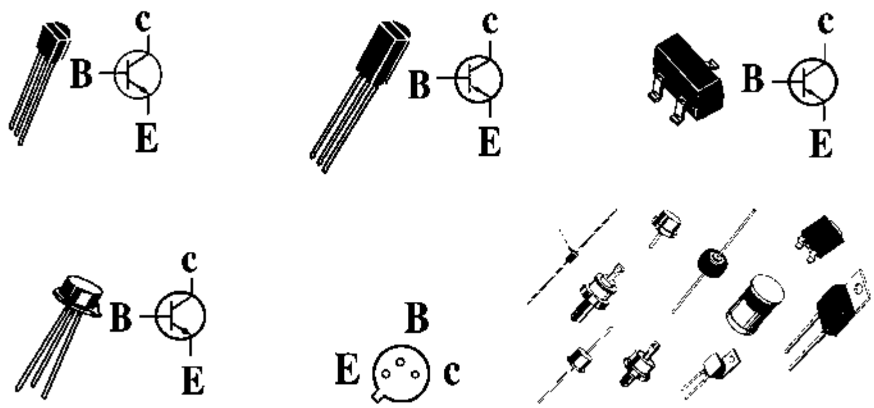
الدوائر الإلكترونية:



(شكل ١٥- ٢٤أ)

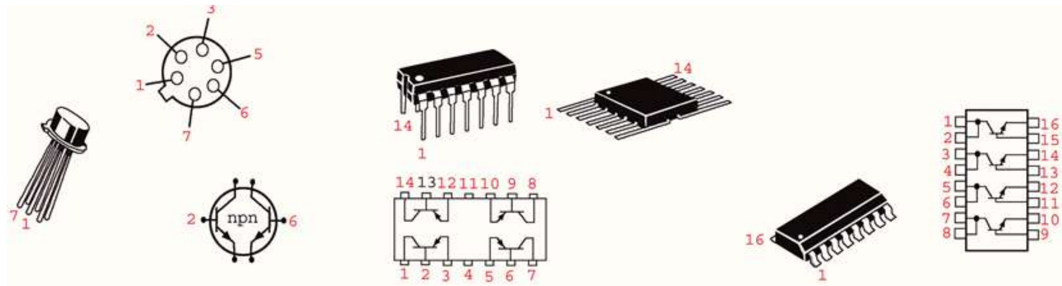
مجموعة مقاومات

يتكون أى نظام إلكــترونى تناظرى أو رقـمى من مكونات إلكترونية تشكل مســاراً مغلقاً يسـمى دائرة Circuit. والمكونات قد تكون غير فعالة Passive ، مثل المقاومة أو المكثف أو ملف الحث أو الدايود (شكل ١٥-٢٤ أ، ب، جـ)، أما المكـونات الفعـالــة Active فـهى أنواع الـترانزسـتـور المختلفة والتى لها إمكانية

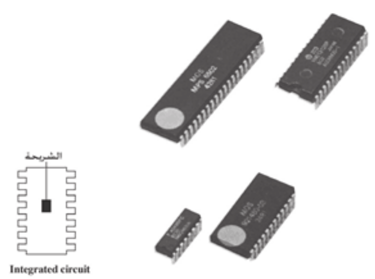


(شكل ١٥- ٢٤ب)

أشكال مختلفة للترانزستور والدايود



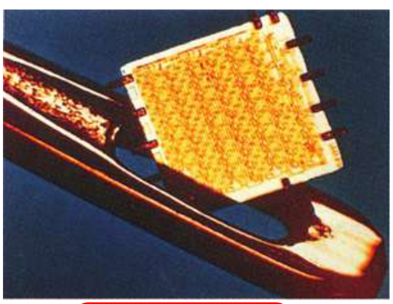
(شكل ١٥- ٢٤جـ)
ترانزستورات على شكل أزواج وأرباع



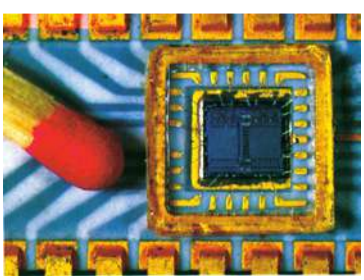
(شكل ١٥- ٢٥أ)
أشكال لدوائر متكاملة

التكبير عند دمجها فى دوائر مناسبة. والدوائر التى تكونها من مكوناتها الأساسية المنفصلة تسمى دوائر منفصلة Discrete Circuits، حيث يتم لحامها أو توصيلها كل على حده (شكل ١٥ - ٢٤). بدأ عهد الدوائر المتكاملة فى ستينيات القرن العشرين عندما كانت أبحاث الفضاء على أشدها وكانت الحاجة ماسة إلى طريقة جديدة لتصنيع دوائر الكترونية صغيرة الحجم قليلة الوزن . فبدأ عهد الدوائر المتكاملة Integrated Circuits (IC's) أو الشرائح الرقيقة Microchips (شكل ١٥ - ٢٥). والفكرة الأساسية أن تجمع كل المكونات المطلوبة فوق شريحة جاهزة من السيليكون تحدد عليها أماكن تلك المكونات دون توصيلها منفصلة حسب وظيفة كل دائرة، فإذا أردنا مثلا أن نصنع دايود Pn، وكانت الشريحة التى بدأنا بها هى n-type، فالمطلوب إذا هو انتشار ذرات P-type كالبورون فى منطقة محددة من الشريحة. وهذا يسمى الانتشار الإنتقائى Selective Diffusion. ويسمى أيضا الانتشار المستوى Planar Diffusion (شكل ١٥ -٢٦).

أما كيف يتم ذلك؛ فهى عملية كيميائية طويلة يستخدم فيها قناع Mask وضوء (حديثا أشعة ليزر)



(شكل ١٥- ٢٥ب)
تفاصيل دائرة متكاملة

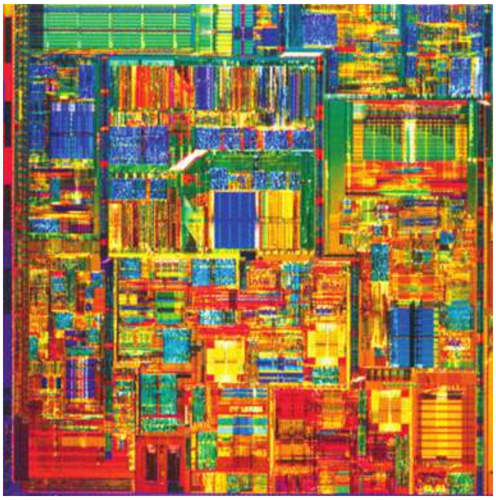


(شكل ١٥- ٢٥جـ)
دائرة مشغل دقيق Microprocessor مقارنة بحجم رأس عود الثقاب

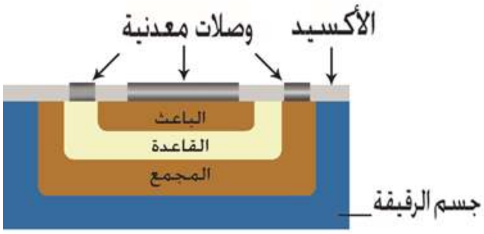
وهى عملية أشبه بالطباعة Photolithography (وتعنى حرفياً النقش على الحجر). فإذا أردنا تصنيع ترانزستور nPn مثلا ، فإننا نفتح من جديد ثغرة فى منطقة P التى سبق تكوينها وتسمح بانتشار ذرات n وهكذا إلى أن يكتمل الترانزستور nPn. والمدهش أن هذه العمليات كلها تتم على رقيقة Wafer من السيليكون، بحيث تكرر على نفس الرقيقة آلاف المرات فى وقت واحد ، ثم تقطع هذه الوحدات المتكررة إلى شرائح صغيرة Chips تحمل كل منها نفس المكونات بنفس المواصفات.

هذا الأسلوب ينتج دوائر إلكترونية قليلة التكلفة بسبب الإنتاج الكثيف Mass Production. فالتكلفة الحقيقية لهذه الصناعة هى فى إقامة المسابك (المصانع) Foundries وما بها من آلات معقدة تعمل بالروبوت وأجهزة الاختبار المعقدة وفى تصميم الدوائر أى فى الجهد الذهنى للمبرمجين، حيث يعتمد التصميم على برامج الكمبيوتر المتقدمة حين تصمم هذه الدوائر خصيصا حسب الطلب. أما الدوائر الشائعة وهى التى تستخدم كثيرا فلا تصمم كل مرة على حده، بل يطبع منها الملايين فتكون بذلك قليلة التكلفة للمستهلك. وأصبحت الدوائر المتكاملة هى أساس الإلكترونيات التناظرية والرقمية على حد سواء.

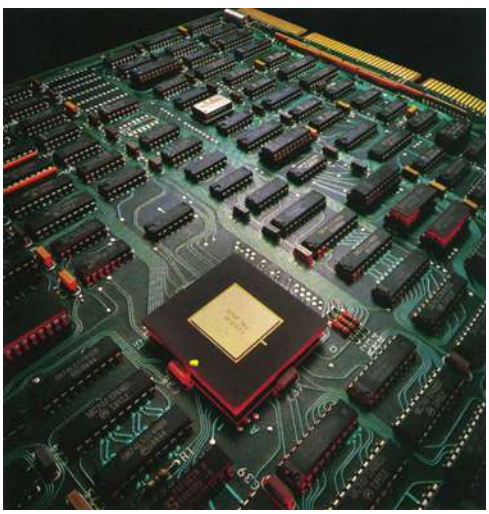
وبدلا من تكوين الدوائر المعقدة من مكوناتها الأولى أصبح تكوين أى نظام إلكترونى يتم من



(شكل ١٥- ٢٥د)
دائرة بنتيام Pentium



(شكل ١٥- ٢٦)
الانتشار الانتقائي المستوى على شريحة سيليكون



(شكل ١٥- ٢٧)
اللوحة الأم Motherboard للكمبيوتر

مكوناته المتكاملة على لوحة مطبوعة Printed Circuit Board (PCB). واللوحة الأساسية فى الكمبيوتر مثلا تسمى اللوحة الأم Motherboard (شكل ١٥ -٢٧) ، وهى تحتوى على المشغل Processor والذاكرة المؤقتة RAM ودوائر التحكم دوائر الحساب والمنطق Alu وغيرها. وقد دخلت الدوائر المتكاملة فى الطب فى جميع أجهزة القياس والتشخيص والعلاج. وفى المستقبل قد تدخل أيضا فى أجهزة ضبط دقات القلب Pacemakers وضبط الأنسولين بالجسم عن طريق وضع كبسولات دقيقة للغاية داخل الجسم نفسه تحتوى على مشغلات دقيقة. كل ذلك يصنع بالدوائر المتكاملة لتؤدى عملها من داخل الجسم.

التصغير إلى أين؟

عندما اخترع أول جهاز كمبيوتر فى خمسينيات القرن العشرين كانت إمكاناته ضعيفة جدا، وكان حجمه حجم طابق كامل فى مبنى وكان يعمل بالصمامات (Valves أو Vaccum Tubes). ثم تطورت التكنولوجيا إلى الترانزستور. ثم ظهرت الدوائر المتكاملة. وقد أدت إلى ظهور ما يسمى الحاسب الشخصى Personal Computer (PC) لأنه أتاح للأفراد اقتناء أجهزتهم الشخصية. ومن السبعينيات إلى الآن والكمبيوتر الشخصى فى تطور مستمر. يسعى هذا التطور إلى زيادة سرعة الكمبيوتر الشخصى وزيادة سعته وقدرته على التعامل مع حسابات أكثر تعقيدا فى زمن أقل. وفى نفس الوقت تقليل حجمه ووزنه، وأيضاً تقليل تكلفته. هذه المتطلبات كلها تبدو متعارضة، ولكنها تتحقق باستمرار وبمعدل نجاح عال جدا بفضل الاستخدام الأمثل لمفاهيم الفيزياء الحديثة وعلم المواد والكيمياء والليزر وللتقدم المستمر فى تكنولوجيا التصنيع ذاتها. حتى أنه شاع قانون ينص على أن السعة والسرعة يتضاعفان كل ثمانية عشر شهرا (يسمى قانون مور Moore's Law).

إذا احتوت الشريحة (مساحة رأس الدبوس) على مائة ترانزستور سمى هذا التكامل الصغير Small Scale Integration (SSI).

وإذا كانت تحتوى على ألف ترانزستور سمى ذلك االتصغير التكامل المتوسط Medium Scale Integration (MSI)

وإذا كانت تحتوى على عشرة آلاف ترانزستور سمى ذلك التصغير التكامل الكبير Large Scale Integration (LSI)

وإذا كانت تحتوى على مائة ألف ترانزستور سمى ذلك التصغير التكامل متناهى الكبر Very Large Scale Integration (VLSI)

وإذا زاد عن ذلك سمى التكامل الفائق Ultra Large Scale Integration (ULSI)

هل يمكنك تصور مليون ترانزستور فى مساحة تعادل رأس دبوس؟ . ماذا وقد وصل العدد

حتى عام ٢٠٠٥ إلى ٣٠٠ مليون ترانزستور، ومرشح للزيادة!. وإذا استمر التصغير على هذا النحو فإلى أين تتجه ؟ ما يحدنا الآن هو حيود الضوء حيث تقترب الأبعاد الفيزيائية من الطول الموجى للضوء المستخدم λ، حيث تظهر ظاهرة الحيود عندما تكون المسافات مقاربة للطول الموجى. إننا وبسرعة فى الطريق إلى مستوى الذرة ذاتها، أى أن 0 و 1 تخزن على شكل الكترون فى أحد حالتين إما مستوى أرضى وآخر مستثار فى الذرة أو إلكترون يدور حول نفسه Spin فى اتجاه أو يدور فى عكس الاتجاه. ويسمى هذا العلم الكمبيوتر الكمى Quantum Computer، وهو الاتجاه المستقبلى الذى أصبح وشيكا على أرض الواقع، وهو يتمشى مع كل التطورات التى تحدث فى العلم الآن فى الاتجاه للبحث عن أدق التفاصيل فى الزمن وفى المسافة، وهو الذى أدى إلى ظهور التقنيات الحديثة مثل النانو Nano Technology والفيمتو Femto Technology.

معلومة إثرائية

الانتشار الانتقائى Selective Diffusion

كيف يمكن أن نجعل ذرات الفوسفور مثلا تنتشر فى منطقة صغيرة ولا تنتشر فى باقى الشريحة؟ يحدث ذلك فى عدة خطوات. أولا نغطى السليكون بطبقة من أكسيد السليكون ثم نستخدم قناعا Mask معدا بطريقة تشبه تحميض الأفلام. نغطى سطح السليكون بمادة حساسة للضوء Photoresist، ثم نضع قناعاً به مناطق معتمة ومناطق منفذه للضوء ونعرض السطح للأشعة فوق البنفسجية Ultraviolet. تتميز هذه المادة الحساسة حين تتعرض لهذه الأشعة بأنها تتبلمر Polymerized، وفى المناطق التى لم تتعرض لهذه الأشعة تبقى سائلة.

ثم نرفع القناع ونستخدم حامض HCl الذى يتفاعل مع اكسيد السليكون SiO_2 فى المناطق التى تكون المادة الحساسة في صورة سائلة، فيفتح الحامض ثغرة فى الأكسيد. تسمى هذه العملية التآكل Etching، ثم يسمح بانتشار الفوسفور على السطح. يكون أكسيد السليكون حائلا دون انتشار ذرات الفوسفور فلا تنتشر إلا فى الثغرة المفتوحة، وهكذا فإن التصغير يعتمد على دقة تصنيع القناع. ومن ثم أصبح الليزر الآن هو المستخدم فى صنع القناع. ولمزيد من التصغير أمكن حديثاً استخدام شعاع إلكترونى E-Beam أو شعاع جزيئى Molecular Beam للحفر على السليكون مباشرة، حيث تكون λ أقل من الطول الموجى للضوء (لماذا)؟. ولكن هذه الطريقة لا تستخدم على نطاق واسع وتصلح للدوائر الخاصة فقط.

تلخـيص

- بلورة المعدن تتكون من أيونات موجبة وسحابة من الإلكترونات الحرة التى تسبح فى أنحاء البلورة فى حركة عشوائية. وتوجد قوة تجاذب بين هذه الايونات والسحابة. ولكن محصلة قوى التجاذب على كل إلكترون حر فى المعدن صفر . وإذا حاول الإلكترون الخروج من سطح المعدن ، فإن قوى التجاذب المحصلة تجذبه إلى الداخل.
- بلورة السليكون (شبه موصل) النقى تتكون من ذرات تربطها روابط تكافؤية. وفى درجات الحرارة المنخفضة لا توجد أى إلكترونات حرة. أما إذا زادت درجة الحرارة فإن بعض هذه الروابط تنكسر ، فتتحرر منها الإلكترونات وتظهر فجوات. وكل من الإلكترونات والفجوات تتحرك حركة عشوائية.
- عدد الروابط المكسورة يزداد مع درجة الحرارة، ويمكن أن يزداد مع مؤثر خارجى مثل الضوء ، بشرط أن تكون طاقة الفوتون كافية لكسر الرابطة.
- يمكن أن يزداد عدد الإلكترونات الحرة عن عدد الفجوات بإضافة شوائب n-type ، والعكس بإضافة شوائب p-type.
- تعتمد توصيلية شبه الموصل على تركيز الإلكترونات الحرة والفجوات ، أى أن شبه الموصل يحتوى على حاملين للتيار، بينما المعدن به حامل واحد للتيار هو الإلكترونات، وعددها فى المعدن ثابت لا يتغير مع درجة الحرارة.
- تتميز أشباه الموصلات بحساسيتها الشديدة للبيئة المحيطة. ولذا يمكن استخدامها كمحسات Sensors للضوء والحرارة والضغط والرطوبة والتلوث الكيميائى والذرى وغيره.
- يتكون الدايود أو الوصلة الثنائية Pn Junction من منطقة p-type وأخرى n-type. وإذا وصل الطرف الموجب للبطارية إلى p-type والسالب إلى n-type يعرف هذا بالتوصيل الأمامى ، ويسبب ذلك تياراً أمامياً. أما إذا عكسنا توصيل البطارية فلا يسرى تيار. ولذلك يستخدم الدايود فى تقويم التيار المتردد Rectification.
- يتكون الترانزستور من pnp أو npn ، ويستخدم للتكبير ، حيث أن نسبة تيار المجمع إلى تيار القاعدة β_e كبيرة . ولذلك فأى تغير صغير فى تيار القاعدة يظهر تأثيره مكبرا فى المجمع.

- يستخدم الترانزستور أيضا كمفتاح، حيث يستخدم فى الدوائر المنطقية مثل العاكس Inverter(NOT) وبوابة التوافق AND وبوابة الاختيار OR وغيرها.
- الإلكترونيات الرقمية تتفوق على الإلكترونيات التناظرية لتغلبها على الضوضاء الكهربية Noise. وأساسها تشفير المعلومات بطريقة 1 و 0.
- الدوائر المتكاملة تتميز بصغر الحجم والوزن وزيادة السرعات والسعة وقلة التكلفة وهى السبب فى انتشار الكمبيوتر الشخصى. ومازال التصغير مستمرا.

أسئلة وتمارين

أولا: التمارين

١- احسب عدد ذرات السيليكون لكل $1cm^3$. إذا كان كثافة السليكون $2.33\ g/cm^3$ والوزن الذرى له 28

$(0.5x10^{23}cm^{-3})$

٢- إذا كان تركيز الإلكترونات أو الفجوات فى السيليكون النقى $1x10^{10}cm^{-3}$ أضيف إليه فوسفور بتركيز $10^{12}cm^{-3}$

احسب تركيز الإلكترونات والفجوات فى هذه الحالة.

$(n=10^{12}\ cm^{-3}\quad p=10^{8}cm^{-3})$

هل السيليكون يصبح n-type أو p-type ؟

(السيليكون فى هذه الحالة يصبح n-type)

٣- احسب تركيز الألومنيوم المطلوب اضافته حتى يعود السيليكون نقياً مرة أخرى.

$(N_A=10^{12}cm^{-3})$

٤- ترانزستور له $\alpha_e = 0.99$ احسب β_e. ثم احسب تيار المجمع إذا كان تيار القاعدة $100\ \mu A$

$(\beta_e=99\ ,\ I_c=99x10^{-4}A)$

٥- إذا كانت الإشارة الكهربية فى قاعدة الترانزستور $200\ \mu A$ ومطلوب أن يكون تيار المجمع $10\ mA$ أحسب β_e ثم α_e.

$(\beta =50\quad ,\quad \alpha=0.98)$

٦- دايود يمكن تمثيله بمقاومة في الاتجاه الأمامى $100\ \Omega$ وفى الاتجاه العكسى مالا نهاية. وضعنا عليه فرق جهد $+5V$ ثم عكسناه إلى $-5V$ - ماذا يكون التيار فى كل حالة؟

(50mA, O)

٧- إذا كان $1mm^2$ يحتوى على مليون ترانزستور، احسب المساحة المخصصة لكل ترانزستور.

$(10^{-12}\ m^2)$

ثانيا: أسئلة المقال

١- اشرح أهمية الإلكترونات الرقمية ، وأذكر خمسة تطبيقات هامة لها.

٢- استنتج جدول التحقق لدائرة AND يتلوها دائرة عاكس.

٣- استنتج جدول تحقق لدائرة OR يتلوها دائرة عاكس.

أسئلة ومسائل عامة للمراجعة

(١) وضح كيف يفسر تأثير فاندرفال تحويل الغازات إلى حالة السيولة؟

(٢) علل: يظهر تأثير فاندرفال على الغاز فى درجات الحرارة المنخفضة بصورة واضحة؟

(٣) تحيد الغازات عن سلوك الغاز المثالى كلما زادت كثافتها. ناقش هذه العبارة موضحا السبب.

(٤) ما هو الأساس العلمى لتصميم قارورة ديوار؟

(٥) علل: يفضل الهليوم المسال عن غيره كمادة مبردة؟

(٦) قارن بين خصائص كل من التغير الأديباتيكي والتغير الأيزوثرمى للغازات؟

(٧) ما المقصود بدرجة الحرارة الانتقالية للفلز؟

(٨) علل: يستخدم ملفات من مواد فائقة التوصيل فى صناعة القطار الطائر؟

(٩) علل يستخدم مواد فائقة التوصيل فى صناعة هوائى الأقمار الصناعية؟

(١٠) علل: لا تظهر ظاهرة مايسنر إلا فى المواد فائقة التوصيل؟

(١١) علل: تزداد كفاءة البطارية كلما قلت مقاومتها الداخلية؟

(١٢) فى الدوائر الكهربية المتصلة على التوازى تستخدم أسلاك سميكة عند طرفى البطارية، بينما يستخدم أسلاك أقل سمكاً عند طرفى كل مقاومة فى الدائرة؟

(١٣) ما المقصود بكل من:

- القيمة الفعالة للتيار المتردد.
- التيارات الدوامية.
- حساسية الجلفانومتر.
- كفاءة المحول.

(١٤) ما هى الفكرة العلمية التى يبنى عليها عمل كل من:

* الجلفانومتر الحساس - المحول الكهربى - مجزىء التيار فى الأميتر - المقاومة المضاعفة للجهد فى الفولتميتر

(١٥) علل : يعتبر المحول الخافض للجهد رافعاً للتيار بينما المحول الرافع للتيار خافضاً للجهد؟

(١٦) يوجد فى المحولات ثلاث نقاط أساسية يتم مراعاتها عند التصميم لتقليل الفقد فى الطاقة الكهربية. ما هى هذه النقاط وما دورها فى فقد الطاقة؟

(١٧) لا تتولد التيارات الدوامية فى الكتل المعدنية إلا إذا كان المجال المغناطيسى المؤثر عليها متغير الشدة؟

(١٨) قارن بين دينامو التيار المتردد ودينامو التيار موحد الاتجاه ثابت الشدة تقريباً.

(١٩) علل : لزيادة قدرة الموتور تم استخدام عدة ملفات بينها زوايا صغيرة.

(٢٠) أدمجت أطوال مختلفة من سلك مساحة مقطعه $0.1\ cm^2$ فى دائرة كهربية لايجاد مقاومة كل منها فكانت النتائج كالآتى:

الطول ع بالمتر	2	4	6	10	14	16
المقاومة R أوم	5	10	15	25	35	40

ارسم علاقة بيانية بين الطول (ع) على المحور السينى ومقاومة السلك (R) على المحور الصادى ومن الرسم البيانى اوجد:

١) مقاومة جزء من هذا السلك طوله 12 m.

٢) المقاومة النوعية لمادة السلك.

٣) التوصيلية الكهربية لمادة السلك.

(٢١) سلك طوله 30m ومساحة مقطعه $0.3\ cm^2$ وصل على التوالى مع مصدر تيار مستمر وأميتر - تم قياس فرق الجهد بين طرفى السلك بواسطة ڤولتميتر فكان 0.8 V - فإذا كانت شدة التيار المار فى السلك 2A - احسب التوصيلية الكهربية للسلك؟

(٢٢) ملف مستطيل الشكل عدد لفاته Turn (N) لفة ومساحة سطحه $A\ (m^2)$ وضع بحيث كان مستواه موازياً لخطوط الفيض الناشئة عن مجال مغناطيسى منتظم كثافة فيضه Tesla (B). بدأ الملف فى الدوران من هذا الوضع بسرعة زاوية ثابتة مقدارها ω حتى أتم نصف دوره وضح

بالرسم فقط (دون شرح) كيف تتغير قيمة القوة الدافعة الكهربية المتولدة بالتأثير مع زاوية الدوران خلال هذه النصف دورة فقط، وما أقصى قيمة للقوة الدافعة الكهربية المستحثة المتولدة فى هذا الملف؟

(٢٣) جلفانومتر مقاومة ملفه $40\ \Omega$ يقيس شدة تيار أقصاها 20mA أوجد مقاومة مجزئ التيار اللازمة لتحويله إلى أميتر يقيس شدة تيار أقصاها 100mA، وإذا وصل ملف الجلفانومتر بمضاعف جهد مقاومته $210\ \Omega$ احسب أقصى فرق جهد يمكن قياسه؟

(٢٤) قارن بين كل من :

- المحول الرافع والمحول الخافض من حيث الغرض منه وعدد لفات الملف الثانوى.
- الدينامو والموتور من حيث استخداماته.

(٢٥) لماذا يتم نقل الكهرباء خلال الأسلاك من محطات توليد الكهرباء تحت فرق جهد عال؟ اختر الاجابة الصحيحة مع التعليل.

١) حتى نتمكن من استخدام المحولات.

٢) حتى نتأكد من أن التيار الكهربى سوف يمر لمسافة كبيرة.

٣) لتقليل الفاقد فى الطاقة الكهربية.

٤) لتقليل مقاومة الأسلاك.

(٢٦) ما المقصود بكل من :

١) معامل الحث المتبادل بين ملفين = 2 H .

٢) كفاءة المحول = 90%.

٣) التيارات الدوامية.

٤) القيمة الفعالة لشدة التيار المتردد = 2A.

(٢٧) محول كهربى خافض ذو كفاءة 100% يراد استخدامه لتشغيل مصباح كهربى قدرته 24 W ويعمل على فرق جهد 12 V باستخدام منبع كهربى قوته 240 V فإذا كانت عدد لفات الملف الثانوى 480 لفة. احسب :

١) شدة التيار المار فى الملفين الابتدائى والثانوى.

٢) عدد لفات الملف الابتدائى.

(٢٨) عند مرور تيار كهربى فى سلك وضع عمودياً على مجال مغناطيسى منتظم فإن السلك يتأثر بقوة أى من الأجهزة التالية يبنى عمله على هذا التأثير:

١) المغناطيس الكهربى. ٢) المحرك الكهربى.

٣) المولد الكهربى. ٤) المحول الكهربى.

(٢٩) احسب القوة الدافعة الكهربية لمصدر إذا كان الشغل المبذول لنقل 5C هو 100 J.

(٣٠) وصلت ثلاثة مقاومات 10Ω , 20Ω , 30Ω بمصدر كهربى فمر تيار شدته 0.15A , 0.2A , 0.05A فى المقاومات على الترتيب احسب قيمة المقاومة المكافئة للدائرة مع توضيح طريقة التوصيل بالرسم.

(٣١) مصدر كهربى قوته الدافعه الكهربية 130V وصل على التوالى مع مقاومتان , 400Ω 300Ω قارن بين قراءتى فولتميتر مقاومته 200Ω إذا وصل بين طرفى كل مقاومة على حدة (مع إهمال المقاومة الداخلية للعمود).

(٣٢) سلك طوله 2m ومساحة مقطعه $0.1m^2$ وصل بمصدر قوته الدافعه 10V فمر به تيار شدته 2A احسب المقاومة النوعية والتوصيلية الكهربية لمادته.

(٣٣) سلكان من النحاس طول أحدهما 10m وكتلته 0.1 kg وطول الآخر 40m وكتلته 0.2kg قارن بين مقاومتهما.

(٣٤) سلك منتظم المقطع يمر به تيار شدته 0.1A عندما يكون فرق الجهد بين طرفيه 1.2V فإذا جعل السلك على شكل مربع مغلق abcd احسب المقاومة المكافئة للسلك إذا وصل المصدر بالنقطتين a,c وإذا وصل المصدر مرة آخرى بالنقطتين a,d.

(٣٥) تتصل محطة لتوليد الكهرباء بمصنع يبعد عنها مسافة 2.5km بسلكين فإذا كان فرق الجهد بين طرفى السلكين عند المحطة 240V وبين الطرفين عند المصنع 220V وكان المصنع يستخدم تياراً شدته 80A إحسب مقاومة المتر الواحد من السلك ونصف قطره إذا علمت أن

المقاومة النوعية لمادة السلك $1.57 \times 10^{-8} \Omega.m$.

(٣٦) بطارية سيارة قوتها الدافعة الكهربية $12V$ ومقاومتها الداخلية 0.5Ω. احسب النسبة المئوية لفرق الجهد المفقود من هذه البطارية عند استخدامها فى إضاءة مصباح مقاومته 2Ω.

(٣٧) عين كثافة الفيض المغناطيسى عند نقطة فى الهواء على بعد $0.1m$ من سلك مستقيم طويل يمر به تيار شدته $10A$، علماً بأن معامل نفاذية الهواء $4\pi \times 10^{-7}$ Web/Am .

(٣٨) سلكان مستقيمان متوازيان يمر فى الأول تيار شدته $10A$ وفى الثانى تيار شدته $5A$. احسب كثافة الفيض المغناطيسى الكلى عند نقطة بين السلكين تبعد عن الأول $0.1m$ وعن الثانى $0.2m$ عندما يكون التيار فى السلكين فى نفس الاتجاه مرة وفى اتجاهين متضادين مرة أخرى.

(٣٩) سلك مستقيم لف على شكل ملف دائرى لفه واحدة وأمر به تيار كهربى فإذا لف السلك نفسه مرة أخرى على شكل ملف دائرى من أربع لفات ومر به نفس التيار، قارن بين كثافتى الفيض عند مركز الملف فى كل من الحالتين.

(٤٠) ملف حلزونى طوله $0.22m$ ومساحة مقطعة $25\times10^{-4}m^2$ يحتوى على 300 لفة. ما هى شدة التيار اللازم إمراره بالملف لتكون كثافة الفيض عند منتصف محوره 1.2×10^{-3}Web/m^2؟ وكم يكون الفيض الكلى الذى يمر بالملف ؟

(٤١) تيار كهربى شدته $20A$ يمر فى سلك مستقيم طوله $10cm$ فإذا وضع السلك فى مجال كثافة فيضه 2×10^{-3} Web/m^2 بحيث يصنع زاوية قدرها 30° مع اتجاه المجال. احسب القوة المؤثرة على السلك.

(٤٢) ملف مستطيل طوله 30 cm وعرضه 20 cm يتكون من 10 لفات يمر به تيار شدته 3A وضع فى مجال مغناطيسى منتظم كثافة فيضه 0.1 Tesla. احسب عزم الازدواج المؤثر عليه عندما يكون مستوى الملف يصنع زاوية 50° مع اتجاه المجال.

(٤٣) ملف دائرى عدد لفاته 100 لفة وشدة التيار المار به $10A$ وضع فى مجال مغناطيسى

كثافة فيضه 0.2 Tesla فإذا كانت مساحة مقطع الملف $0.3\ m^2$. احسب النهاية العظمى لعزم الازدواج المؤثر على الملف محددًا وضع الملف بالنسبة للمجال فى هذه الحالة.

(٤٥) جلفانومتر ذو ملف متحرك عند مرور تيار فيه شدته له 30mA كانت الزاوية بين الملف والمجال 60° احسب حساسية الجلفانومتر.

(٤٦) جلفانومتر مقاومة ملفه 5Ω يقيس تيار أقصى شدة له 20mA احسب أقصى تيار يمكن أن يقيسه إذا وصل بمجزئ تيار مقاومته 0.1Ω ، ثم احسب مقدار مضاعف الجهد الذى يوصل بالجلفانومتر ليعمل كفولتميتر يقيس فرق جهد قدره 5V .

(٤٧) مجزئ تيار مقاومته 0.1Ω ينقص حساسية أميتر إلى العشر ، أوجد مقاومة المجزئ الذى ينقص حساسية هذا الاميتر إلى الربع.

(٤٨) ناقش بالتفصيل المشكلة التى واجهت الفيزياء الكلاسيكية فى تفسير منحنيات شدة الإشعاع مع الطول الموجى للأجسام المتوهجة فى درجات الحرارة المختلفة؟

(٤٩) اشرح كيف استطاع بلانك أن يفسر ظاهرة إشعاع الجسم الأسود؟

(٥٠) ما المقصود بالظاهرة الكهروضوئية وكيف تم تفسيرها فى ضوء النظرية الكمية للإشعاع؟

(٥١) تعتبر ظاهرة كمبتون مثالاً جيدًا للطبيعة الجسيمية للموجات. ناقش ذلك بالتفصيل؟

(٥٢) يعتبر الميكروسكوب الإلكترونى مثالاً تطبيقياً للطبيعة الموجية للإلكترونات. اشرح فكرة عمل هذا الجهاز موضحاً ما يتميز به عن الميكروسكوب الضوئى العادى. ولماذا؟

(٥٣) ناقش أسباب فشل الميكانيكا الكلاسيكية فى تفسير استقرار الذرة.

(٥٤) علل: لا يصدر الطيف الخطى من المادة إلا إذا كانت فى صورة ذرات منفصلة أو فى الحالة الغازية تحت ضغط منخفض.

(٥٥) ما هو الدور الذى يقوم به المجال الكهربى بين الكاثود والهدف فى توليد الأشعة السينية فى أنبوبة كولدج؟

(٥٦) علل : يعتمد الطول الموجى للطيف المميز فى الأشعة السينية على نوع مادة الهدف، وليس على فرق الجهد المسلط بين الكاثود والهدف.

(٥٧) يشترط فى مصادر الليزر أثناء التشغيل أن يصل الوسط الفعال لوضع الإسكان المعكوس فى حين لا يتطلب حدوث مثل ذلك فى مصادر الضوء العادية؟

(٥٨) يعتبر التجويف الرنينى هو الوحدة المسئولة فى جهاز الليزر عن إتمام عمليتى الانبعاث المستحث والتضخيم الضوئى. وضح بالتفصيل آلية إتمام هاتين العمليتين؟

(٥٩) وضح الدور الذى يقوم به كل من عنصرى الهليوم والنيون فى إنتاج ليزر الهيليوم نيون؟

(٦٠) يعتبر ليزر الهليوم نيون مثالا لتحويل الطاقة الكهربية إلى طاقة ضوئية وطاقة حرارية وضح آلية هذا التحويل؟

(٦١) قارن بين التصوير العادى والتصوير الهولوجرافى من حيث أسلوب نقل البيانات المعبرة عن الصورة إلى اللوح الفوتوغرافى فى كل منهما.

(٦٢) ما المقصود بالمادة شبه الموصلة النقية؟ وما هى خصائصها فى التوصيل الكهربى؟

(٦٣) ناقش الطرق الممكنة لرفع كفاءة المادة شبه الموصلة،مع ذكر الخصائص التى تكتسبها المادة فى كل طريقة .

(٦٤) ناقش مفهوم كل من المصطلحات التالية:

الفجوة الموجبة - الذرة الشائبة - الجهد الحاجز

شبه موصل من النوع الموجب - تيار الانسياب

شبه موصل من النوع السالب - تيار الانتشار

(٦٥) ناقش مفهوم الاتزان الديناميكى الحرارى لبلورة مادة شبه موصلة؟

(٦٦) قارن بين خصائص الوصلة الثنائية فى حالة التوصيل الأمامى والتوصيل الخلفى.

(٦٧) اشرح مع الرسم التوضيحى كيفية قيام الوصلة الثنائية بتقويم التيار المتردد.

(٦٨) اشرح الأساس العلمى الذى يعمل عليه الترانزستور كمفتاح.

ملاحق

ملحق ١

رموز ووحدات بعض الكميات الفيزيائية
Symbols and Units of Some Physical Quantities

م	الكمية	الرمز الشائع	وحدة القياس
١	الإزاحة	x,y,z,d	m (meter)
٢	المساحة	A	m^2
٣	الحجم	V_{ol}	m^3
٤	الزمن	t	s (second)
٥	الزمن الدورى	T	s
٦	السرعة	v	$m\ s^{-1}$
٧	الزاوية	α,θ,ϕ	deg , rad
٨	التردد الزاوى (السرعة الزاوية)	ω	$rad\ s^{-1}$
٩	الكتلة	m,M	kg
١٠	كتلة الإلكترون	m_e	kg
١١	الكثافة	ρ	$kg\ m^{-3}$
١٢	العجلة	a	$m\ s^{-2}$
١٣	عجلة الجاذبية	g	$m\ s^{-2}$
١٤	كمية الحركة الخطية	P_L	$kg\ m\ s^{-1}$
١٥	القوة	F	N , $kg\ ms^{-2}$
١٦	الوزن	F_g	N(Newton)
١٧	عزم اللى (الازدواج)	τ	Nm
١٨	الشغل	W	J(Joule)
١٩	الطاقة	E	J
٢٠	طاقة الحركة	KE	J
٢١	طاقة الوضع	PE	J

م	الكمـــــية	الرمز الشـائع	وحـدة القـياس
٢٢	القـــدرة	P_w	W , Js^{-1} (watt)
٢٣	الدفـع	I_{imp}	Ns
٢٤	درجة الحرارة	t°C , t°F , T°K	Celsius, Fahrenheit, Kelvin
٢٥	كمية المادة	n	mole
٢٦	الضـغـط	P	Pascal , Nm^{-2}
٢٧	الضغط الجوى	P_a	Pascal , Nm^{-2}
٢٨	كمية الحرارة	Q_{th}	J
٢٩	الحرارة النوعية	C_{th}	J kg^{-1} °K^{-1}
٣٠	السعة الحرارية	q_{th}	J°K^{-1}
٣١	الحرارة الكامنة للتصعيد	B_{th}	J kg^{-1}
٣٢	الحرارة الكامنة للانصهار	L_{th}	J kg^{-1}
٣٣	معامل التمدد الحجمى للغاز	α_V	——
٣٤	معامل زيادة ضغط الغاز	B_P	——
٣٥	معدل الانسياب الكتلى	Q_m	kg/s
٣٦	معدل الانسياب الحجمى	Q_V	m^3/s
٣٧	معامل اللزوجة	η_{vs}	Ns m^{-2}
٣٨	الكـفـــاءة	η	——
٣٩	الشحنة الكهربية	Q,q	C (Coulomb)
٤٠	شحنة الالكترون	e	C
٤١	فرق الجهد الكهربى	V	V (Volt)
٤٢	فرق جهد البطارية	V_B	V
٤٣	القوة الدافعة الكهربية	emf	V
٤٤	شدة المجال الكهربى	ε	Vm^{-1}
٤٥	الفيض الكهربى	ϕ_e	Gauss

م	الكمـــــية	الرمز الشـائع	وحـدة القـياس
٤٦	شدة التيار الكهربى	I	A (Ampere)
٤٧	المقاومة الكهربية	R	Ω (Ohm)
٤٨	المقاومة النوعية	ρ_e	Ω m
٤٩	التوصيلية الكهربية	σ	$\Omega^{-1}\ m^{-1}$
٥٠	معامل تكبير الترانزيستور	$\propto_e\ ,\ \beta_e$	——
٥١	شدة المجال المغناطيسى	H	Am^{-1}
٥٢	كثافة الفيض المغناطيسى	B	Tesla , $Wb\ m^{-2}$
٥٣	الفيض المغناطيسى	ϕ_m	Web (Weber)
٥٤	معامل الحث الذاتى	L_m	H (Henry)
٥٥	معامل الحث المتبادل	M_m	H
٥٦	النفاذية المغناطيسية	μ	$Weber\ A^{-1}\ m^{-1}$
٥٧	عزم ثنائى القطب المغناطيسى	$\overrightarrow{m_d}$	$Nm\ Tesla^{-1}$
٥٨	سرعة الضوء	c	ms^{-1}
٥٩	التردد الموجى	ν	Hertz (Hz)
٦٠	التردد الكهربى	f	Hz
٦١	الطول الموجى	λ	m
٦٢	معامل انكسار المادة للضوء	n	——
٦٣	قوة التفريق اللونى	$\omega_\propto$	——

ملحق ٢

الثوابت الفيزيائية الأساسية

Fundamental Physical Constants

القيمة العددية	رمز الكمية	الكمية الفيزيائية
$6.677x10^{-11}$ N m^2 kg^{-2}	G	Universal gravitational constant ١- ثابت الجذب العام
$1.38x10^{-23}$ J$ß$$K^{-1}$	k	Boltzmann constant ٢- ثابت بولتزمان
$6.02x10^{26}$ Molecule.$kmol^{-1}$	N_A	Avogadro□s number ٣- عدد أفوجادرو
$8.31x10^3$ J.$kmol^{-1}$ ßK^{-1}	R	Universal gas constant ٤- الثابت العام للغازات
$9x10^9$ Nm^2C^{-2}	k	Coulomb□s Law Constant ٥- ثابت قانون كولوم
4,,$x10^{-7}$ Weber $m^{-1}A^{-1}$	µ	Permeability of free Space ٦- معامل نفاذية الفراغ
$3x10^8$ $m.s^{-1}$	c	Speed of Light in Vacuum ٧- سرعة الضوء فى الفراغ
$1.6x10^{-19}$ C	e	Elementary charge ٨- الشحنة الأولية
$9.1x10^{-31}$ kg	m_e	Electron rest mass ٩- كتلة السكون للإلكترون
$1.79x10^{11}$ $C.kg^{-1}$	$\frac{e}{m_e}$	Specific charge of electron ١٠- الشحنة النوعية للإلكترون
$1.673x10^{-27}$ kg	m_p	Proton rest mass ١١- كتلة السكون للبروتون
$6.63x10^{-34}$ Js	h	Planck□s constant ١٢- ثابت بلانك
$1.66x10^{-27}$ kg	u	Atomic mass unit ١٣- وحدة الكتل الذرية
$1.096x10^7$ m^{-1}	R_H	Rydberg constant ١٤- ثابت ريد برج
$1.675x10^{-27}$ kg	m_n	Neutron rest mass ١٥- كتلة السكون للنيوترون
$22.4x10^{-3}$ m^3		١٦- حجم المول فى الغاز فى معدل الضغط و درجة الحرارة Molar volume of ideal gas at S.T.P
9.8066 ms^{-2}	g	١٧- شدة الجاذبية على سطح الأرض Standard gravity at Earth□s surface
$6.374x10^6$ m	r_e	١٨- نصف القطر الاستوائى للأرض Equatorial radius of the Earth
$5.976x10^{24}$ kg	M_e	Mass of the Earth ١٩- كتلة الأرض
$7.35x10^{22}$ kg	M_m	Mass of the Moon ٢٠- كتلة القمر
$3.844x10^8$ m	r_m	٢١- متوسط نصف قطر مدار القمر حول الأرض Mean radius of the Moon□s orbit around the Earth
$1.989x10^{30}$ kg	M_s	Mass of the Sun ٢٢- كتلة الشمس

الكمية الفيزيائية	رمز الكمية	القيمة العددية
٢٣- متوسط نصف قطر دوران الأرض حول الشمس Mean radius of Earth's orbit around the Sun	r_{es}	$1.496x10^{11}$ m
٢٤- زمن دوران الأرض حول الشمس Period of Earth's orbit around the Sun	yr	$3.156x10^{7}$ s
٢٥- قطر المجرة التابع لها الشمس Diameter of our galaxy	—	$7.5x10^{20}$ m
٢٦- كتلة المجرة التابع لها الشمس Mass of our galaxy	—	$2.7x10^{41}$ kg
٢٧- نصف قطر الشمس Radius of the Sun	—	$7x10^{8}$ m
٢٨- شدة إشعاع الشمس على سطح الأرض Sun's radiation intensity at Earth's surface	—	0.134 J cm^{-2} s^{-1}

ملحق ٣

البادئات القياسية
Standard Prefixes

عربى	إنجليزى	الأس العشرى
يوكتو	Yocto	10^{-24}
زبتو	Zepto	10^{-21}
أوتو	Atto	10^{-18}
فيمتو	Femto	10^{-15}
بيكو	Pico	10^{-12}
نانو	Nano	10^{-9}
ميكرو	Micro	10^{-6}
مللى	Milli	10^{-3}
سنتى	Centi	10^{-2}
ديسى	Deci	10^{-1}
	___	10^{0}
ديكا	Deka	10^{1}
هيكتو	Hecto	10^{2}
كيلو	Kilo	10^{3}
ميجا	Mega	10^{6}
جيجا	Giga	10^{9}
تيرا	Tera	10^{12}
بيتا	Peta	10^{15}
إكسا	Exa	10^{18}
زيتا	Zetta	10^{21}
يوتا	Yotta	10^{24}

ملحق ٤

الحروف الأبجدية اليونانية

Greek Alphabet

Α	α	alpha	a	"father"
Β	β	beta	b	
Γ	γ	gamma	g	
Δ	δ	delta	d	
Ε	ε	epsilon	e	"end"
Ζ	ζ	zêta	z	
Η	η	êta	ê	"hey"
Θ	θ	thêta	th	"thick"
Ι	ι	iota	i	"it"
Κ	κ	kappa	k	
Λ	λ	lamda	l	
Μ	μ	mu	m	
Ν	ν	nu	n	
Ξ	ξ	xi	ks	"box"
Ο	ο	omikron	o	"off"
Π	π	pi	p	
Ρ	ρ	rho	r	
Σ	σ, ς	sigma	s	"say"
Τ	τ	tau	t	
Υ	υ	upsilon	u	"put"
Φ	φ	phi	f	
Χ	χ	chi	ch	"Bach"
Ψ	ψ	psi	ps	
Ω	ω	omega	ô	"grow"

ملحق٥

أسماء بعض علماء الفيزياء وإنجازاتهم

● أبو البركات (ابن ملكا) (١١٥٢ - ١٠٧٢)	رائد فى الطب ومكتشف قوانين الحركة.
● أبو الحسن على (ابن يونس المصرى) (٩٥٢ - ١٠٠٩)	رائد فى علم الفلك ومخترع البندول البسيط.
● أبو الريحان محمد البيرونى (٩٧٣ - ١٠٤٨)	رائد فى علم الجغرافيا والفلك وأول مَنْ قدر نصف قطر الارض.
● أبو على الحسن (ابن الهيثم) (٩٦٥ - ١٠٤٠)	رائد فى الرياضيات والفلك والطب ومؤسس علم البصريات.
● أبو يوسف يعقوب بن إسحق (الكندى) (٨٠٠ - ٨٧٣)	رائد فى الفلسفة والفيزياء (وخاصة البصريات) .
● إديسن (توماس) Edison (Thomas) (1847 - 1931)	مخترع الفونوجراف والمصباح الكهربى وبعض الأجهزة الإلكترونية.
● أرشميدس Arkhimêdês (قبل الميلاد 212- 287)	له اكتشافات عديدة منها نسبة قطر الدائرة إلى محيطها وقانون الطفو والمرآة العاكسة.
● أفوجادرو (أميديو) Avogadro (Amedeo) (1776 - 1856)	فيزيائى إيطالى صاحب النظرية المتعلقة بالجزيئات الغازية المعروفة باسمه.

● أمبير (أندريه - مارى) Ampére (André - Marie) (1775 - 1836)	أجرى دراسات على الكهرباء والمغناطيسية والتلغراف.
● أورستد (هانس كريستيان) Oersted (Christian) (1777 - 1851)	مؤسس علم الكهرومغناطيسية فى عام 1820.
● أوم (جورج) Ohm (George) (1789 - 1854)	فيزيائى ألمانى فحص التيارات الجلفانية واكتشف توزيع القوة الدافعة الكهربائية فى الدوائر الكهربائية وقام بصياغة قانون أوم للكهربية.
● أينشتاين (ألبرت) Einstein (Albert) (1879 - 1955)	حاز على جائزة نوبل فى الفيزياء عام 1921 لخدماته فى الفيزياء النظرية وخاصة لاكتشافه قانون التأثير الكهروضوئى.
● باسكال (بليز) Pascal (Blaise) (1623 - 1662)	له مؤلفات علمية وبحوث ومساهمات فى مجال السوائل المتحركة وقوانين ضغط الهواء والماء وتوازن السوائل.
● بديع الزمان (ابن الرزاز الجزرى) القرن الثانى عشر	رائد فى علم القياسات والميكانيكا وصناعة الآلات المائية.
● براج (وليم) Bragg (William) (1862 - 1942)	فيزيائى إنجليزى اهتم بدراسة وتطبيق حيود الأشعة السينية لتحليل البناء البلورى، حاز على جائزة نوبل فى الفيزياء عام 1915.
● بور (نيلز) Bohr (Neils) (1885 - 1962)	حاز على جائزة نوبل فى الفيزياء عام 1922 لخدماته فى إجراء الفحوصات العملية للبناء الداخلى للذرات والأشعة المنبعثة منها.
● بويل (روبرت) Boyle (Robert) (1627 - 1691)	اكتشف قانون ضغط الغازات.

● توريشلى (إيفانجلستا) Torricelli (Evangelista) (1608 - 1647)	مخترع البارومتر الزئبقى.
● جاليليو (جاليلى) Galileo (Galilei) (1564 - 1642)	فلكى إيطالى وفيزيائى وأول من أثبت أن سقوط الأجسام لا يعتمد على الكتلة وأول من صنع التلسكوب الفلكى.
● جلفانى (لويجى) Galvni (Luigi) (1737 - 1798)	فيزيائى وطبيب إيطالى أدت تجاربه على الحيوانات إلى أن الأعصاب والعضلات تولد شحنات كهربية.
● دالتون (جون) Dalton (John) (1766 - 1844)	كيميائى وفيزيائى إنجليزى أول من وضع فروض الذرة واستنتج قانون امتزاج الغازات.
● رذر فورد (إرنست) Rutherford (Ernest) (1871 - 1937)	اهتم بالإجراءات المعملية فى مجال الذرة والإشعاع ونال جائزة نوبل فى الكيمياء عام ١٩٠٨ لأبحاثه فى الانحلال الإشعاعى للعناصر
● رهمكورف (هنريش) Ruhmkorff (Heinrich) (1803 - 1877)	عالم فرنسى من أصل ألمانى وهو ميكانيكى اهتم بالكهرباء واخترع البكرة المعروفة باسمه وأيضا ملف الحث.
● رونتجن (ويلهلم) Rontgen (Wilhelm) (1845 - 1923)	فيزيائى ألمانى اكتشف الأشعة السينية (أشعة إكس).
● شرودينجر (أروين) Schrodinger (Erwin) (1887 - 1961)	فيزيائى نمساوى نال جائزة نوبل لأبحاثه فى الآلية المتموجة عام ١٩٣٣.
● عبد الرحمن أبو جعفر (الخازن) (القرن الثانى عشر)	رائد علم الهيدروستاتيكا وقياس الضغط ودرجة الحرارة.

● فاراداى (مايكل) Faraday (Michael) (1791 - 1867)	اكتشف قوانين الكهرومغناطيسية ومفهوم المجال.
● فان درڤالز (جوهانس) Van Der Waals (Johannes) (1837 - 1923)	منح جائزة نوبل عام 1910 من أجل دراساته المتميزة لمعادلة الحال للغازات والسوائل
● فراونهوفر (جوزف فون) Fraunhofer (Joseph Von) (1787 - 1826)	فسر الخطوط الطيفية المظلمة لضوء الشمس التى أدت إلى وجود مختلف العناصر والأيونات فى الشمس.
● فولتا (السااندرو) Volta (Alessandro) (1745 - 1827)	فيزيائى إيطالى أول من صنع العمود الكهربائى (البطارية) وطور نظرية التيار الكهربى وتعرف وحدة قياس الجهد باسمه.
● فيرمى (إنريكو) Fermi (Enrico) (1901 - 1954)	فيزيائى إيطالى مشتغل بالطاقة النووية واشترك فى صناعة القنبلة الذرية (نوبل 1938) وأدت أبحاثه إلى إنتاج عناصر مشعة جديدة.
● كاميرلنخ (أونس) Kamelingh (Onnes) (1853 - 1926)	نال جائزة نوبل فى الفيزياء عام 1913 لبحوثه على خواص المواد عند درجات الحرارة المنخفضة والتي أدت إلى إنتاج الهليوم السائل واكتشاف ظاهرة فائقية التوصيل فى المعادن الفلزية وبعض المركبات.
● كبلر (جوهانس) Kepler (Johannes) (1571 - 1630)	فلكى ألمانى وضع قوانين الكواكب السيارة واستنبط منها نيوتن قانون الجذب العام.
● كوبرنيكس (نيكولاس) Copernicus (Nicolas) (1473 - 1543)	فلكى بولندى أثبت دوران الكرة الأرضية حول نفسها وحول الشمس.
● كيرشهوف (جوستاف) Kirchhoff (Gustav) (1824 - 1887)	فيزيائى ألمانى اكتشف قوانين الدوائر الكهربية.

● لنز (هنرش) Lenz (Heinrich) (1804 - 1865)	مكتشف قوانين التيار المستحث واتجاه القوة الدافعة الكهربية المستحثة والتيار المستحث.
● ماكس بلانك (ماكس) Planck (Max) (1858 - 1947)	منح جائزة نوبل في الفيزياء عام 1918 تقديرا واعترافا لخدماته التى أدت إلى تقدم ورقى الفيزياء بواسطة اكتشافه العلمى لكمات الطاقة.
● ماكسويل (جيمس) Maxwell (James) (1831 - 1879)	أول من افترض قوانين الكهرومغناطيسية والتي سميت بمعادلات ماكسويل.
● نيوتن (السير اسحاق) Newton (Isaac) (1642 - 1727)	اكتشف تكوين الضياء الشمسى وقوانين الجاذبية والحركة.
● هرتز (هينرش) Hertz (Heinrich) (1857 - 1894)	اكتشف الموجات الكهربائية واشتق القوانين الأساسية من معادلات ماكسويل.
● هيجنس (كريستيان) Huygens (Christian) (1629 - 1695)	أول من افترض وجود التموجات الضوئية.
● ينج (توماس) Young (Thomas) (1773 - 1829)	فيزيائى وطبيب اهتم بنظرية الضوء وأجرى تجارب معملية على التداخل الضوئى والالوان والنظرية الموجية للضوء.

"ينبغى أن تكثر اتهامك لنفسك ولا تحسن الظن بها وتعرض خواطرك على العلماء وعلى تصانيفهم وتتثبت ولاتتعجل، فالعالم الحق من يضع لبنة فى بناء العلم العظيم".

موفق الدين البغدادى

"كفى بالعلم شرفاً أن كلاً يدعيه، وكفى بالجهل ضيعة أن الكل يتبرأ منه. والإنسان إنسان بالخلقة إذا لم يعلم. فإذا علم كان إنساناً بالفعل والإنسان يحترم الإنسان بقدر ما يملكه من معرفة وعلم. وتزداد قيمته إذا مارس مهنة التعليم والتأليف".

داود الإنطاكى

"وأما ما يجب للأستاذ على التلميذ فهو أن يكون التلميذ ليناً متقبلاً لجميع أقواله من جميع جوانبها. لايعترض فى أمر من الأمور فإن ذخائر الأستاذ العلم ولايظهرها للتلميذ إلا عند السكون إليه.

ولست أريد بطاعة التلميذ للأستاذ أن تكون طاعته فى شئون الحياة الجارية بل أريدها طاعة فى قبول تعلم الدرس وترك الانشغال وعلى الأستاذ أن يمتحن توجيه المتعلم ومقدار ما فيه من القبول والإصغاء وقدرته على القبول وممارسته . وكلما احتمل الزيادة زاده. ومع امتحانه فيما كان مقررا تعلمه".

جابر بن حيان

"التلقين شر طرائق التعليم وخير طرائق التعليم أن أحرك تفكير تلميذى فى قضية ما وأترك له حرية السؤال .. وأجهد فكره ليصل بنفسه إلى الجواب ومع كل جواب أوافقه على جوابه أو أعترض عليه إلى أن أميل به إلى الجواب المنشود بالعقل والمنطق وبالوقائع وبالحجة والبرهان".

أبو يوسف يعقوب بن إسحق الكندى

"حياة قصيرة غنية بالعلم والمسرة والعمل خير عندى من حياة طويلة خاوية من هذه المتع الثلاث ينحنى فى خاتمتها الظهر ويسير صاحبها على ثلاث. ولاينبغى لعالم أن يبقى شيئاً من العلم فى نفسه ولايدونه فى كتاب قبل أن يلقى وجه ربه".

أبو على الحسين بن سينا

"اللهم إنك تعلم أنى عرفتك على مبلغ إمكانى فاغفر لى فإن معرفتى إياك وسيلتى إليك".

غياث الدين أبو الفتح عمر الخيام